

Simon Singh

Autor de *O último teorema de Fermat*  
e *O livro dos códigos*

# BIG BANG

tudo sobre a mais importante  
descoberta científica de todos  
os tempos e por que esse  
conhecimento é indispensável



**BIG BANG**



Simon Singh

# BIG BANG

Tradução de  
JORGE LUIZ CALIFE

Revisão técnica de  
ALFREDO SOTTO

3ª EDIÇÃO



EDITORA RECORD  
RIO DE JANEIRO • SÃO PAULO

2011

CIP-Brasil. Catalogação-na-fonte  
Sindicato Nacional dos Editores de Livros, RJ.

Singh, Simon  
S624b Big Bang / Simon Singh; tradução de Jorge Luiz Calife. – 3ª ed.  
3ª ed. – Rio de Janeiro: Record, 2011.

Tradução de: Big Bang  
Inclui bibliografia  
ISBN 978-85-01-07213-9

1. Teoria do big bang. 2. Relatividade geral (Física). 3.  
Cosmologia. I. Título.

06-2973 CDD – 523.18  
CDU – 524.852

Título original em inglês:  
BIG BANG

Copyright © Simon Singh, 2004

Publicado originalmente pela Fourth Estate, uma divisão do grupo  
HarperCollins Publishers.

Todos os direitos reservados. Proibida a reprodução, armazenamento  
ou transmissão de partes deste livro através de quaisquer meios, sem  
prévia autorização por escrito. Proibida a venda desta edição em  
Portugal e resto da Europa.

Direitos exclusivos de publicação em língua portuguesa para o Brasil  
adquiridos pela  
EDITORA RECORD LTDA.  
Rua Argentina 171 – Rio de Janeiro, RJ – 20921-380 – Tel.: 2585-2000  
que se reserva a propriedade literária desta tradução

---

Impresso no Brasil

ISBN 978-85-01-07213-9

Seja um leitor preferencial Record.  
Cadastre-se e receba informações sobre nossos  
lançamentos e nossas promoções.

Atendimento e venda direta ao leitor:  
mdireto@record.com.br ou (21) 2585-2002



*Este livro não teria sido possível sem Carl Sagan,  
James Burke, Magnus Pyke, Heinz Wolff, Patrick Moore,  
Johnny Ball, Rob Buckman, Miriam Stoppard, Raymond Baxter  
e todos os diretores e produtores de programas científicos  
da televisão que inspiraram o meu  
interesse pela ciência.*

*Coloque três grãos de areia dentro de uma enorme catedral e a catedral estará mais cheia de areia do que o espaço de estrelas.*

JAMES JEANS

*O esforço para compreender o universo é uma das poucas coisas que elevam a vida humana um pouco acima do nível da farsa e lhe dão um pouco da beleza da tragédia.*

STEVEN WEINBERG

*Na ciência tentamos informar as pessoas, de um modo que seja entendido por todos, alguma coisa que ninguém sabia até então. Na poesia fazemos exatamente o oposto.*

PAUL DIRAC

*A coisa mais incompreensível a respeito do universo é que ele é compreensível.*

ALBERT EINSTEIN

# SUMÁRIO

---

## **1. NO PRINCÍPIO 11**

Da mitologia à cosmologia, da pré-história a 1900

## **2. TEORIAS DO UNIVERSO 87**

Como a teoria da gravidade de Einstein sugeriu um momento de criação

## **3. O GRANDE DEBATE 159**

Como as observações do universo implicaram uma expansão cósmica

## **4. DISSIDENTES DO COSMOS 251**

Como teoria e observação se uniram para formar o modelo do Big Bang

## **5. A MUDANÇA DE PARADIGMA 333**

A batalha entre cosmologias rivais é finalmente resolvida

## **EPÍLOGO 433**

Quais são as maiores questões no modelo do Big Bang?

O que é ciência? 459

Glossário 463

Leituras complementares 473

Agradecimentos 481

Créditos das imagens 485

Índice 487

## Capítulo 1

---

# NO PRINCÍPIO

---

*A ciência deve começar com os mitos, e com a crítica dos mitos.*

KARL POPPER

*Não me sinto obrigado a acreditar que o mesmo Deus que nos dotou de sentidos, de razão e de intelecto possa desejar que deixemos de usá-los.*

GALILEU GALILEI

*Viver na Terra pode ser dispendioso, mas inclui uma viagem anual gratuita em torno do Sol.*

ANÔNIMO

*A física não é uma religião. Se fosse, seria muito mais fácil conseguir verbas para ela.*

LEON LEDERMAN



Nosso universo é pontilhado com mais de 100 bilhões de galáxias e cada uma contém aproximadamente 100 bilhões de estrelas. Não está claro quantos planetas orbitam essas estrelas, mas é certo que, em pelo menos um deles, a vida evoluiu. E, em especial, existe uma forma de vida que tem a capacidade e a audácia de especular sobre a origem deste vasto universo.

Os seres humanos vêm observando o espaço há milhares de gerações, mas nós temos o privilégio de fazer parte da primeira geração que alega ter uma descrição coerente, racional e respeitável para a criação e a evolução do universo. O modelo do Big Bang (Grande Explosão) oferece uma explicação elegante para a origem de tudo o que vemos no céu noturno, o que o transforma numa das maiores realizações do espírito e do intelecto humanos. Trata-se do resultado de uma curiosidade insaciável, de uma imaginação fabulosa, da observação aguçada e de uma lógica implacável.

E, o que é ainda mais maravilhoso, o modelo do Big Bang pode ser entendido por todos. Quando tomei conhecimento do Big Bang, ainda adolescente, fiquei admirado com sua beleza e simplicidade, e pelo fato de ser baseado em princípios que, em sua maior parte, não iam além da física que eu já aprendia no colégio. Exatamente como a teoria da seleção natural de Charles Darwin é ao mesmo tempo fundamental e compreensível para a maioria das pessoas inteligentes, o modelo do Big Bang pode ser explicado em termos que farão sentido para não-especialistas sem que precisem mergulhar nos conceitos-chave dos meandros da teoria.

Mas, antes de abordarmos os primeiros indícios do modelo do Big Bang, é necessário estabelecer alguns fundamentos. O modelo do Big Bang para o universo foi desenvolvido nos últimos cem anos, e isso só foi possível por-

que as descobertas do século XX se ergueram sobre os alicerces de uma astronomia desenvolvida nos séculos anteriores. Por sua vez, essas teorias e observações do céu foram realizadas em uma estrutura científica montada continuamente durante dois milênios. Recuando ainda mais, o método científico, como um caminho em direção a uma verdade objetiva a respeito do mundo natural, só pôde surgir quando o papel dos mitos e do folclore começou a declinar. Em resumo, as raízes do modelo do Big Bang e a busca de uma teoria científica para o universo têm suas origens no declínio da visão mitológica ancestral do mundo.

## **De criadores gigantes aos filósofos gregos**

De acordo com um mito chinês da criação datado de 600 a.C., Phan Ku, o Criador Gigante, saiu de um ovo e começou a criar o mundo usando um cinzel para esculpir os vales e montanhas da paisagem. Em seguida ele colocou o Sol, a Lua e as estrelas no céu e morreu assim que essas tarefas tinham terminado. A morte do Criador Gigante era uma parte essencial do processo de criação, porque os fragmentos de seu próprio corpo ajudaram a completar o mundo. O crânio de Phan Ku formou a abóbada celeste, sua carne deu origem ao solo, seus ossos se transformaram nas rochas e seu sangue criou os rios e mares. Seu último suspiro produziu o vento e as nuvens, enquanto seu suor transformava-se na chuva. Seu cabelo caiu na Terra, criando a vida vegetal, e os piolhos escondidos em seus cabelos forneceram a base para a raça humana. E, como o nosso nascimento exigiu a morte de nosso criador, fomos amaldiçoados com a tristeza eterna.

Em contraste, no mito épico *Prose Edda*, da Islândia, a criação começou não com um ovo e sim com a Fenda Aberta. Esse vazio separou os reinos contrastantes de Muspell e Niflheim, até que um dia o calor brilhante e intenso de Muspell derreteu a neve congelante e o gelo de Niflheim, e a umidade caiu na Fenda Aberta, produzindo a vida na forma do gigante Imir. Só então a criação do mundo pôde começar.

O povo krachi, de Togo, no oeste da África, fala de outro gigante, o imenso deus azul Wulbari, mais conhecido entre nós como o céu. Houve um



tempo em que ele se deitava logo acima da Terra, mas uma mulher socando grãos com um longo pau o cutucava e espetava de modo que ele se ergueu acima deste incômodo. Contudo, Wulbari permanecia ao alcance dos humanos, que usavam sua barriga como uma toalha e arrancavam fragmentos de seu corpo azul para temperarem a sopa. Gradualmente, Wulbari subiu cada vez mais alto, até que o céu azul ficou fora do alcance, e lá permaneceu desde então.

Para os iorubá, também da África ocidental, Olorum era o Dono do Céu. Quando ele olhou para baixo, para o pântano sem vida, pediu a outro ser divino que levasse uma concha de caramujo até a Terra primordial. A concha continha um pombo, uma galinha e uma pequena quantidade de solo. O solo foi salpicado sobre os pântanos da Terra e então o pombo e a galinha começaram a ciscar até que o pântano virou um terreno sólido. Para testar o mundo, Olorum enviou o Camaleão, que mudou da cor azul para o marrom enquanto ia do céu até a terra, sinalizando que a galinha e o pombo tinham completado com sucesso a sua tarefa.

No mundo inteiro, cada cultura desenvolveu seus próprios mitos sobre a origem do universo e como ele foi formado. Esses mitos da criação diferem bastante, cada um refletindo o ambiente e a sociedade onde se originou. Na Islândia, são as forças vulcânicas e meteorológicas que formam o cenário para o nascimento do Imir. Mas, de acordo com os iorubás, do oeste africano, são a galinha e o pombo familiares que dão origem à terra sólida. Não obstante, todos esses mitos da criação têm algumas características comuns. Seja Wulbari, grande, azul e machucado, ou o gigante moribundo da China, esses mitos inevitavelmente invocam pelo menos um ser sobrenatural para desempenhar um papel crucial na explicação da criação do universo. Da mesma forma, cada mito representa a verdade absoluta dentro de sua sociedade. A palavra “mito” vem do grego *mythos*, que pode significar “estória”, mas também significa “palavra” no sentido de “palavra final”. De fato, qualquer um que se atrevesse a questionar essas explicações estaria sujeito a acusações de heresia.

Nada mudou muito até o século VI a.C., quando houve um súbito surto de tolerância nos meios intelectuais. Pela primeira vez os filósofos ficaram livres para abandonar as explicações mitológicas aceitas para o universo e

desenvolverem suas próprias teorias. Anaximandro, de Mileto, por exemplo, argumentava que o Sol era um buraco num anel cheio de fogo que circundava a Terra e girava em torno dela. De modo semelhante, ele acreditava que a Lua e as estrelas nada mais eram do que buracos no firmamento, revelando fogos de outro modo escondidos. De modo contrário, Xenófanes de Colofon acreditava que a Terra liberava gases combustíveis que se acumulavam durante a noite até atingirem uma massa crítica, quando então se incendiavam produzindo o Sol. A noite caía novamente quando a bola de gás queimara todo o seu combustível, deixando para trás apenas as poucas centelhas que chamamos de estrelas. Ele explicava a Lua de modo semelhante, com gases se acumulando e queimando num ciclo de 28 dias.

O fato de Xenófanes e Anaximandro não estarem perto da verdade não tem importância, porque o principal é que eles desenvolviam teorias que explicavam o mundo natural sem recorrer a deuses ou artefatos sobrenaturais. Teorias dizendo que o Sol é um fogo celeste visto através de um buraco no firmamento ou uma bola de gás se queimando eram qualitativamente diferentes do mito grego que explicava o Sol invocando uma carruagem dirigida através do céu pelo deus Hélios. Isso não quer dizer que a nova geração de filósofos quisesse necessariamente negar a existência dos deuses. Eles apenas se recusavam a acreditar que a interferência divina fosse responsável pelos fenômenos naturais.

Esses filósofos foram os primeiros *cosmólogos*, na medida em que estavam interessados no estudo científico do universo físico e de suas origens. A palavra “cosmologia” deriva da antiga palavra grega *kosmeo*, que significa “ordenar” ou “organizar”, refletindo a crença de que o universo pode ser entendido e merece um estudo analítico. O cosmos apresentava padrões, e era ambição dos gregos reconhecer esses padrões, esmiuçá-los e compreender o que havia por trás deles.

Seria um grande exagero chamar Xenófanes e Anaximandro de cientistas no sentido moderno do termo, e seria lisonjeiro considerar suas idéias como teorias científicas plenamente desenvolvidas. Não obstante, eles certamente contribuíram para o nascimento do pensamento científico, e seu *ethos* tinha muito em comum com a ciência moderna. Tal como as idéias na ciência moderna, por exemplo, as idéias dos cosmólogos gregos podiam ser

criticadas e comparadas, melhoradas ou abandonadas. Os gregos adoravam uma boa discussão e assim a comunidade dos filósofos examinava as teorias, questionava o raciocínio subjacente e finalmente escolhia a mais convincente. Em contraste, os indivíduos de muitas outras culturas não se atreviam a questionar a própria mitologia. Cada mitologia era um ato de fé dentro de sua própria sociedade.

Pitágoras de Samos ajudou a consolidar os fundamentos desse novo racionalismo por volta do ano 540 a.C. Como parte de sua filosofia ele desenvolveu uma paixão pela matemática e demonstrou como os números e as equações podiam ser usados para ajudar a formular teorias científicas. Uma de suas primeiras conquistas foi explicar a harmonia da música através da harmonia dos números. O instrumento mais importante na música helênica antiga era o tetracórdio ou lira de quatro cordas, mas Pitágoras desenvolveu sua teoria fazendo experiências com um monocórdio. A corda era mantida sob tensão constante, mas seu comprimento podia ser alterado. Um certo comprimento da corda produzia uma determinada nota, e Pitágoras percebeu que dividindo pela metade o comprimento da mesma corda, ela produzia uma nota que era uma oitava mais alta e em harmonia com a nota da corda original. De fato, mudando o comprimento da corda por qualquer fração simples ou proporção, criava-se uma nota harmoniosa com a primeira. (Por exemplo, uma proporção de 3:2, agora chamada de quinta musical). Mas, se o comprimento fosse mudado numa proporção aleatória (por exemplo 15:37), o resultado seria a desarmonia.

Já que Pitágoras tinha mostrado que a matemática podia ser usada para ajudar a explicar e descrever a música, gerações subseqüentes de cientistas usaram os números para explorar todo tipo de coisas, da trajetória de uma bala de canhão aos padrões caóticos do clima. Wilhelm Röntgen, que descobriu os raios X em 1895, era um fiel adepto da filosofia pitagórica da ciência matemática e certa vez declarou: “Ao se preparar para o seu trabalho, o físico precisa de três coisas: matemática, matemática e matemática”.

O mantra de Pitágoras era “tudo é número”. Alimentado por essa crença, ele tentou descobrir as regras matemáticas que regeriam os corpos celestes. Ele afirmava que os movimentos do Sol, da Lua e dos planetas através do céu geravam notas musicais especiais, que seriam determinadas pelo compri-

mento de suas órbitas. E a partir daí Pitágoras concluiu que essas órbitas e notas teriam proporções numéricas específicas para que o universo permanecesse em harmonia. Isso se tornou uma teoria popular em sua época. Podemos reexaminá-la a partir de uma perspectiva moderna e ver como ela enfrenta os rigores do método científico atual. Do lado positivo, a afirmação de Pitágoras de que o universo estava repleto de música não depende de nenhuma força sobrenatural. Sua teoria também é bem simples e muito concisa, duas qualidades muito valorizadas na ciência. De modo geral, uma teoria apoiada em uma única equação, curta e bonita, é preferível a outra teoria que depende de várias equações feias e imprecisas, cheias de parênteses complicados e espúrios. Como disse o físico Berndt Matthias: “Se você vir uma fórmula na revista *Physical Review* que ocupe um quarto de página, pode esquecê-la. Está errada. A Natureza não é tão complicada”. Entretanto, a simplicidade e a concisão são secundárias diante da característica mais importante de qualquer teoria científica: ela deve corresponder à realidade e estar aberta à verificação. E é aí que a teoria da música celeste fracassa completamente. De acordo com Pitágoras, somos constantemente envolvidos por essa música celestial, mas não podemos percebê-la porque a ouvimos desde que nascemos e ficamos acostumados com ela. Para concluir, qualquer teoria que prevê uma música que nunca pode ser ouvida ou qualquer coisa que jamais poderá ser detectada é uma teoria científica muito pobre.

Toda teoria científica verdadeira precisa fazer uma previsão sobre o universo que possa ser observada ou medida. Se os resultados de uma experiência ou observação corresponderem à previsão teórica, teremos um bom motivo para que a teoria se torne aceita e seja incorporada à estrutura maior da ciência. Por outro lado, se a previsão teórica for imprecisa e entrar em conflito com a experiência ou a observação, então a teoria deve ser rejeitada, ou pelo menos modificada, a despeito de suas qualidades no que se refere à beleza ou à simplicidade. Esse é o desafio supremo, um desafio brutal, mas toda teoria científica deve poder ser testada e ser compatível com a realidade. No século XIX, o naturalista Thomas Huxley disse que “a grande tragédia da ciência é a morte de uma bela hipótese diante de uma feia realidade”.

Felizmente os seguidores de Pitágoras ampliaram suas idéias e aperfeiçoaram sua metodologia. Aos poucos, a ciência foi se tornando uma discipli-

na sofisticada e poderosa, capaz de realizações impressionantes, como a medida dos verdadeiros diâmetros do Sol, da Lua e da Terra e das distâncias que os separam. Essas medições foram marcos na história da astronomia, representando os primeiros passos vacilantes na estrada para a compreensão de todo o universo. Por isso tais medidas merecem ser descritas em detalhes.

Antes que qualquer distância celeste ou tamanho pudessem ser calculados, os antigos gregos já tinham determinado que a Terra é uma esfera. Tal noção ganhou ampla aceitação na antiga Grécia à medida que os filósofos se familiarizavam com a noção de que os navios desaparecem gradualmente no horizonte até que apenas a ponta do mastro pode ser vista. E isso só fazia sentido se a superfície do mar se curvasse, mergulhando atrás do horizonte. Se o mar tinha uma superfície curva, então, presumivelmente, a Terra também a teria, o que significava que talvez fosse uma esfera. Essa visão era reforçada pela observação dos eclipses da Lua, quando a Terra projeta uma sombra em forma de disco sobre a Lua, na forma exata que se esperaria de um objeto esférico. De significado semelhante era o fato de que todos podiam ver que a própria Lua era redonda, sugerindo que a esfera era a forma natural, o que acrescentava mais munição à hipótese de uma Terra redonda. Tudo começava a fazer sentido, incluindo os escritos do viajante e historiador grego Heródoto, que falava de pessoas no extremo norte que dormiam durante metade de um ano. Se a Terra fosse esférica, então partes diferentes do globo seriam iluminadas de modo diferente, de acordo com suas latitudes, o que naturalmente dava origem ao inverno polar e às noites que duravam seis meses.

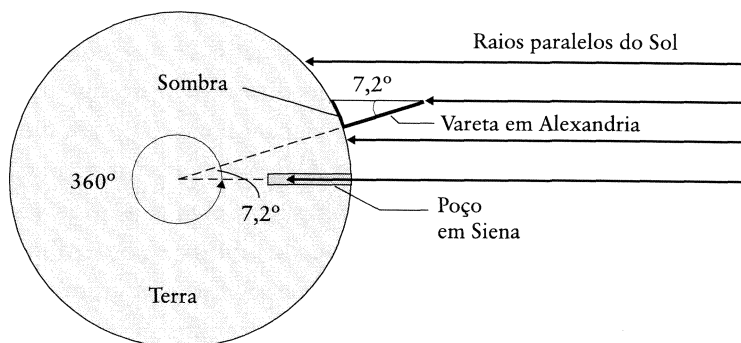
Mas uma Terra esférica dava origem a uma pergunta que ainda incomoda as crianças hoje em dia. O que impede que as pessoas no hemisfério Sul “se desprendam” e caiam? A solução grega para esse enigma baseava-se na crença de que o universo tinha um centro e tudo seria atraído para este centro. O centro da Terra supostamente coincidiria com o centro universal hipotético, assim a Terra era estática e tudo sobre sua superfície seria puxado em direção ao centro. Portanto, os gregos ficariam presos ao chão por essa força, assim como tudo o mais no mundo, mesmo se vivesse lá embaixo.

A façanha de medir o tamanho da Terra foi realizada em primeiro lugar por Eratóstenes, que nasceu em 276 a.C., em Cirene, na atual Líbia. Mesmo

quando ainda era um menino parecia evidente que Eratóstenes tinha uma mente brilhante, que podia se voltar para qualquer disciplina, da poesia à geografia. Ele até mesmo recebeu o apelido de Pentatlos, o que significa um atleta que participa das cinco competições do pentatlo, numa sugestão da amplitude de seus talentos. Eratóstenes passou muito tempo como bibliotecário-chefe em Alexandria, o posto acadêmico de maior prestígio no mundo antigo. A cosmopolita Alexandria tinha tomado o lugar de Atenas como centro intelectual do Mediterrâneo, e a biblioteca da cidade era a instituição de ensino mais respeitada no mundo. Esqueça qualquer imagem de bibliotecários burocráticos, carimbando livros e sussurrando uns com os outros, porque aquele era um lugar vibrante e excitante, cheio de estudiosos inspiradores e estudantes empolgados.

Na biblioteca, Eratóstenes ficou sabendo da existência de um poço com notáveis propriedades, situado perto da cidade de Siena, no sul do Egito, perto da atual Assuã. A cada ano, ao meio-dia de 21 de junho, o dia do solstício de verão, o Sol brilhava diretamente dentro do poço e iluminava tudo até o fundo. Eratóstenes percebeu que, naquele dia em especial, o Sol deveria estar diretamente acima, algo que nunca acontecia em Alexandria, que ficava a várias centenas de quilômetros ao norte de Siena. Hoje sabemos que Siena fica perto do Trópico de Câncer, a latitude mais ao norte em que o Sol pode aparecer bem no zênite.

Ciente de que a curvatura da Terra era o motivo de o Sol não brilhar do mesmo modo acima de Siena e Alexandria ao mesmo tempo, Eratóstenes imaginou se não poderia usar isso para medir a circunferência da Terra. Ele não pensou no problema do mesmo modo como pensaríamos, já que sua interpretação da geometria e sua notação eram diferentes, mas aqui está uma explicação moderna de sua abordagem. A figura 1 mostra como os raios paralelos da luz do Sol atingiam a Terra ao meio-dia de 21 de junho. No mesmo momento em que a luz do Sol mergulhava verticalmente no fundo do poço em Siena, Eratóstenes fincou uma vareta verticalmente no solo de Alexandria e mediu o ângulo entre a vareta e os raios do Sol. E o que é crucial para o problema é que este ângulo equivale ao ângulo entre duas linhas radiais traçadas de Alexandria e Siena até o centro da Terra. Ele mediu o ângulo como sendo de  $7,2^\circ$ .



**Figura 1** Eratóstenes usou a sombra projetada por uma vareta, em Alexandria, para calcular a circunferência da Terra. Realizou a experiência no solstício do verão, quando a Terra se encontra em sua inclinação máxima e as cidades ao longo do Trópico de Câncer ficam mais perto do Sol. Isto significa que o Sol fica diretamente acima dessas cidades ao meio-dia. Por motivo de clareza, as distâncias neste e nos outros diagramas não foram desenhadas em escala. De modo semelhante, os ângulos podem estar exagerados.

Agora imagine alguém em Siena que decida caminhar numa linha reta até Alexandria, e depois continua andando até dar a volta ao mundo e retornar a Siena. Ao dar uma volta completa em torno da Terra, ela descreveria um círculo completo cobrindo  $360^\circ$ . Assim, se o ângulo entre Siena e Alexandria é de apenas  $7,2^\circ$ , então a distância entre Siena e Alexandria representa  $7,2/360$  ou  $1/50$  da circunferência da Terra. O resto do cálculo é simples. Eratóstenes mediu a distância entre as duas cidades, que se revelou de 5.000 estádios. Se isso representa  $1/50$  da circunferência da Terra então a circunferência total deve ser de 250.000 estádios.

Mas você deve estar se perguntando quanto é 250.000 estádios. Um estádio era a distância-padrão em que eram disputadas as corridas. O estádio olímpico media 185 metros, então a estimativa da circunferência da Terra ficaria em 46.250 quilômetros, que é apenas 15% maior do que o valor verdadeiro de 40.100 quilômetros. E Eratóstenes pode até ter sido mais preciso. O estádio egípcio era diferente do estádio olímpico e equivalia a 157 metros, o que nos dá uma circunferência de 39.250 quilômetros e uma precisão de 2%.

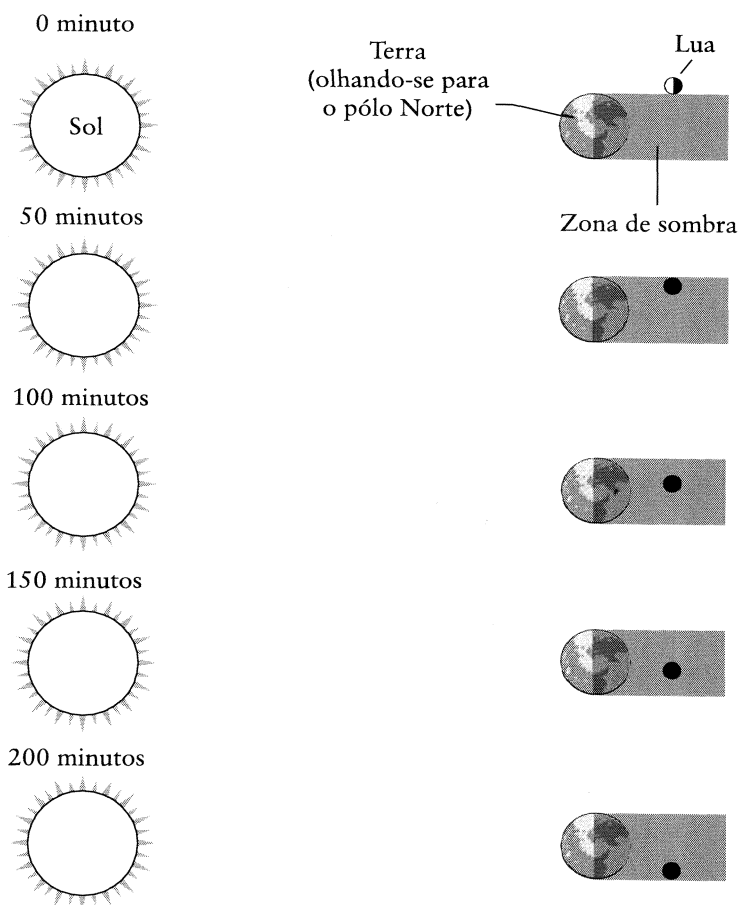
Se a precisão foi de 2% ou de 15%, é irrelevante. O importante é que Eratóstenes tinha desenvolvido um meio de medir cientificamente o tamanho da Terra. Qualquer imprecisão era mero resultado de uma medida imprecisa de ângulo, um erro na distância Siena-Alexandria, um ajustamento do meio-dia no solstício e o fato de que Alexandria não ficava exatamente ao norte de Siena. Antes de Eratóstenes, ninguém sabia se a circunferência era de 4.000 ou 4.000.000.000 de quilômetros, de modo que determiná-la como sendo de aproximadamente 40.000 quilômetros foi uma grande conquista. Ela provou que tudo o que era necessário para medir o planeta era um homem com uma vareta e um cérebro. Em outras palavras, junte um intelecto com alguns equipamentos experimentais e pode-se conseguir quase tudo.

Agora Eratóstenes podia deduzir o tamanho da Lua e do Sol, e calcular suas distâncias da Terra. Muito do trabalho básico tinha sido feito por filósofos anteriores, mas seus cálculos estavam incompletos à espera de que o tamanho da Terra fosse determinado. E agora Eratóstenes tinha o valor que faltava. Por exemplo, comparando-se o tamanho da sombra projetada pela Terra sobre a Lua, durante um eclipse lunar, como mostrado na figura 2, fora possível deduzir que o diâmetro da Lua era cerca de um quarto do da Terra. Já que Eratóstenes havia demonstrado que a circunferência da Terra media 40.000 quilômetros, então este diâmetro é aproximadamente  $(40.000 \div \pi)$  km, em torno de 12.700 km. Portanto, o diâmetro da Lua é  $(1/4 \times 12.700)$  km, que nos dá aproximadamente 3.200 km.

Foi fácil para Eratóstenes calcular então a distância até a Lua. Um método seria olhar para a Lua cheia, fechar um dos olhos e estender o braço. Se fizer isso, vai notar que pode tapar a Lua com a ponta de seu dedo indicador. A Figura 3 mostra que sua unha forma um triângulo com seu olho. A Lua forma um triângulo semelhante, imensamente maior mas com proporções idênticas. A proporção entre o comprimento de seu braço e a altura de sua unha, que é cerca de 100:1, deve ser a mesma que existe entre a distância da Lua e o seu diâmetro. Isso significa que a distância até a Lua deve ser aproximadamente cem vezes maior do que o seu diâmetro, o que nos dá uma distância de 320.000 km.

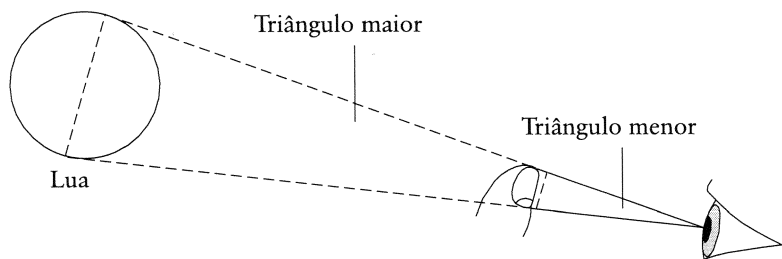
Em seguida, graças a uma hipótese de Anaxágoras de Clazômenas e um argumento inteligente de Aristarco de Samos, foi possível para Eratóstenes





**Figura 2** Os tamanhos relativos da Terra e da Lua podem ser estimados observando-se a passagem da Lua através da sombra da Terra durante um eclipse lunar. A Terra e a Lua estão bem distantes do Sol se compararmos com a distância da Terra até a Lua. Assim, o tamanho da sombra da Terra equivale ao tamanho da própria Terra.

O diagrama mostra a Lua passando através da sombra da Terra. Nesse eclipse particular — quando a Lua passa aproximadamente através do centro da sombra da Terra —, estima-se que transcorram cinquenta minutos entre o momento em que a Lua toca a sombra até que fique completamente coberta, assim cinquenta minutos é uma indicação do próprio diâmetro da Lua. E o tempo necessário para que a parte frontal da Lua cruze toda a sombra da Terra é de duzentos minutos, o que é uma indicação do diâmetro da Terra. O diâmetro da Terra é, portanto, aproximadamente quatro vezes o diâmetro da Lua.

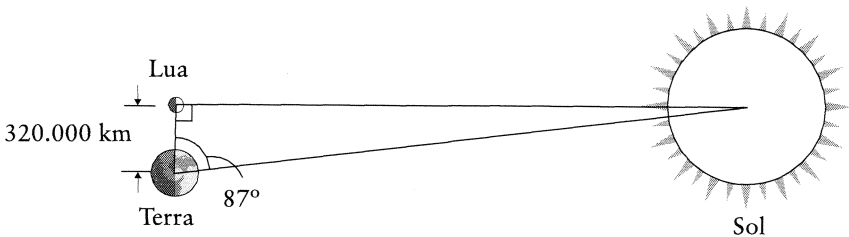


**Figura 3** Tendo-se estimado o tamanho da Lua, é relativamente fácil determinar sua distância. Primeiro você vai notar que pode tapar a Lua com a ponta do dedo na extremidade de um braço esticado. Daí se torna claro que a proporção entre a altura da unha e o comprimento de um braço é, aproximadamente, a mesma que existe entre o diâmetro da Lua e sua distância da Terra. O comprimento do braço é aproximadamente cem vezes maior que a unha, assim, a distância até a Lua é aproximadamente cem vezes o seu diâmetro.

calcular o tamanho do Sol e a que distância ele se encontrava. Anaxágoras era um pensador radical do século V a.C., que considerava que o propósito da vida era a “investigação do Sol, da Lua e do céu”. Ele acreditava que o Sol era uma pedra incandescente e não uma divindade, e de modo semelhante acreditava que as estrelas também eram pedras quentes, mas muito distantes para aquecer a Terra. Em contraste, ele supunha que a Lua era uma pedra fria que não emitia luz, e Anaxágoras afirmava que o luar não passava de luz do Sol refletida. Apesar de um clima crescente de tolerância intelectual em Atenas, onde Anaxágoras vivia, ainda era controvertido afirmar que o Sol e a Lua eram pedras e não deuses. Tanto que seus rivais invejosos acusaram Anaxágoras de heresia e organizaram uma campanha que resultou no seu exílio para Lâmpsaco na Ásia Menor. Os atenienses tinham uma queda para adornar sua cidade com ídolos, e é por isso que, em 1638, o bispo John Wilkins comentou ser irônico que um homem que transformava deuses em pedras fosse perseguido por pessoas que transformavam pedras em deuses.

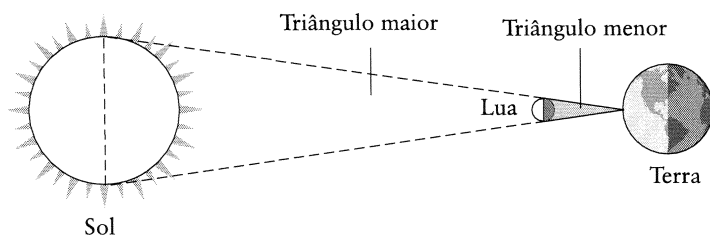
No século III a.C., Aristarco ampliou a idéia de Anaxágoras. Se o luar era luz do Sol refletida, afirmou, então a meia-lua deve acontecer quando o Sol, a Lua e a Terra formam um ângulo reto, como mostrado na figura 4. Aristarco mediu o ângulo entre as linhas ligando a Terra ao Sol e à Lua, e então usou a trigonometria para calcular a proporção entre as distâncias

Terra-Lua e Terra-Sol. Ele mediu o ângulo como sendo de  $87^\circ$ , o que significa que o Sol estava vinte vezes mais distante do que a Lua. Nosso cálculo anterior já tinha fornecido a distância até a Lua. De fato, o ângulo correto é de  $89,85^\circ$  e o Sol está quatrocentas vezes mais distante do que a Lua, assim Aristarco tinha claramente se esforçado para medir o ângulo com precisão. Mas novamente precisão não é o mais importante: os gregos tinham desenvolvido um método válido que representava um avanço importante. Instrumentos de medição melhores aproximariam os cientistas do futuro da verdadeira resposta.



**Figura 4** Aristarco afirmou que era possível estimar a distância até o Sol usando o fato de que a Terra, a Lua e o Sol formam um triângulo reto quando a Lua se encontra na metade de sua fase. Na meia-lua, mediu o ângulo mostrado no diagrama. A trigonometria simples e a distância conhecida entre a Terra e a Lua podem então ser usadas para determinar a distância Terra-Sol.

Finalmente, deduzir o tamanho do Sol é óbvio, porque é um fato bem conhecido que a Lua se encaixa perfeitamente sobre o Sol durante um eclipse solar. Portanto, a proporção entre o diâmetro do Sol e sua distância da Terra deve ser a mesma existente entre o diâmetro da Lua e sua distância da Terra, como é mostrado na figura 5. Nós já conhecemos o diâmetro da Lua e sua distância da Terra, e também sabemos a distância do Sol até a Terra, assim seu diâmetro é fácil de calcular. O método é idêntico ao ilustrado na figura 3, em que a distância até nossa unha e sua altura serviram para medir a distância até a Lua, a não ser pelo fato de que agora a Lua tomou o lugar da unha como objeto com tamanho e distância conhecidos.



**Figura 5** É possível estimar o tamanho do Sol, depois que conhecemos sua distância. Um método é usar um eclipse total do Sol e o nosso conhecimento do diâmetro da Lua e de sua distância. Um eclipse total do Sol é visível apenas de um pequeno trecho na superfície da Terra em cada ocasião, porque o Sol e a Lua parecem ter o mesmo tamanho quando vistos da Terra. O diagrama (que não está em escala) mostra como um observador do eclipse na Terra se encontra no vértice de dois triângulos semelhantes. O primeiro triângulo se estende até a Lua e o segundo triângulo, até o Sol. Sabendo-se as distâncias até a Lua e até o Sol e conhecendo-se o diâmetro da Lua, já é o bastante para deduzir o diâmetro do Sol.

Essas conquistas assombrosas de Eratóstenes, Aristarco e Anaxágoras ilustram os avanços no pensamento científico que aconteciam na antiga Grécia, porque suas medições do universo dependiam da lógica, da matemática, da observação e das medições. Mas será que os gregos merecem realmente todo o crédito pelo estabelecimento das bases da ciência? Afinal, os babilônios foram grandes praticantes da astronomia, fazendo milhares de observações detalhadas. Existe um consenso geral entre os filósofos e os historiadores da ciência de que os babilônios não eram verdadeiros cientistas, porque se contentavam com um universo guiado por deuses e explicado por mitos. Em todo caso, colecionar centenas de medições e catalogar intermináveis posições de estrelas e planetas é trivial se comparado à verdadeira ciência, à gloriosa ambição de tentar explicar tais observações através da compreensão da natureza básica do universo. Como declarou com razão o matemático e filósofo francês Henri Poincaré, “a ciência é construída com fatos, como uma casa é feita com pedras. Mas uma coleção de fatos não é mais ciência do que uma pilha de pedras é uma casa”.

Se os babilônios não foram os primeiros protocientistas, e quanto aos egípcios? A Grande Pirâmide de Queops antecede o Partenon em 2 mil anos e os egípcios certamente estavam mais avançados do que os gregos em ter-

mos de desenvolvimento de escalas de peso, cosméticos, tintas, trancas de madeira, velas e muitas outras invenções. Estes, entretanto, são exemplos de tecnologia, não de ciência. A tecnologia é um exemplo de atividade prática, como demonstrado pelos exemplos egípcios fornecidos, que ajudavam a facilitar os rituais da morte, o comércio, o embelezamento, a escrita, a proteção e a iluminação. Em resumo, a tecnologia envolve todo o necessário para tornar a vida (e a morte) mais cômoda, enquanto a ciência é simplesmente um esforço para compreender o mundo. Os cientistas são movidos pela curiosidade, em lugar de buscar o bem-estar e a utilidade.

Embora cientistas e tecnólogos tenham objetivos muito diferentes, uma confusão freqüente é achar que ciência e tecnologia são a mesma coisa, ao que tudo indica porque as descobertas científicas costumam levar a avanços tecnológicos. Por exemplo, os cientistas passaram décadas fazendo descobertas a respeito da eletricidade, que os tecnólogos então usaram para inventar lâmpadas e muitos outros engenhos. Nos tempos antigos, entretanto, a tecnologia avançava sem precisar da ciência, de modo que os egípcios podiam ser inventores bem-sucedidos sem nenhum entendimento da ciência. Quando fabricavam cerveja, eles estavam interessados nos métodos tecnológicos e nos resultados, e não no modo como um material era transformado em outro, e o porquê. Eles não tinham nenhum conhecimento dos mecanismos químicos e bioquímicos em ação.

E assim os egípcios eram tecnólogos e não cientistas, enquanto Eratóstenes e seus colegas eram cientistas, não tecnólogos. As intenções dos cientistas gregos eram idênticas às descritas 2 mil anos depois por Henri Poincaré:

O cientista não estuda a natureza porque ela é útil; ele a estuda porque se encanta com ela, e ele se encanta porque a natureza é bela. Se a natureza não fosse bela, não valeria a pena conhecê-la, e, se não valesse a pena conhecer a natureza, a vida não valeria a pena ser vivida. É claro que não estou falando aqui daquela beleza que atinge os sentidos, da beleza das características e das aparências. Não que eu não valorize esse tipo de beleza, longe disso, mas ela não tem nada a ver com a ciência. Aqui estou falando da beleza mais profunda que deriva da ordem harmoniosa das partes e que pode ser percebida com uma inteligência pura.

Em resumo, os gregos tinham demonstrado que só se pode conhecer o diâmetro do Sol conhecendo-se sua distância, que depende do conhecimento da distância da Lua, o qual vem a partir do conhecimento de seu diâmetro. E isso depende do conhecimento do diâmetro da Terra, e esta foi a grande realização de Eratóstenes. O conhecimento dessas distâncias e diâmetros foi obtido estudando-se um profundo poço vertical no Trópico de Câncer, a sombra lançada pela Terra sobre a Lua, o fato de que Sol, Lua e Terra formam um ângulo reto na meia-lua, e a observação de que a Lua se encaixa perfeitamente sobre o Sol durante um eclipse solar. Acrescente-se a isso algumas suposições de que o luar nada mais é do que a luz solar refletida, e uma estrutura de lógica científica toma forma. Essa arquitetura de lógica científica tem uma beleza inerente que surge a partir do encaixe dos vários argumentos, de como as várias medições se ligam umas às outras e de como as diferentes teorias são introduzidas subitamente para adicionar solidez à estrutura.

Tendo completado sua fase inicial de medições, os astrônomos da Grécia antiga agora estavam prontos para examinar os movimentos do Sol, da Lua e dos planetas. Estavam a ponto de criar um modelo dinâmico do Universo em sua tentativa de compreender a interação entre os vários corpos celestes. Esse seria o próximo passo na estrada para um conhecimento profundo do universo.

## **Círculos dentro de círculos**

Nossos ancestrais mais distantes estudavam o céu em detalhe, fosse para prever mudanças no clima, manter um registro do tempo ou encontrar as direções. A cada dia observavam o Sol cruzar o céu e a cada noite viam o desfile de estrelas que seguia em seu rastro. A terra onde caminhavam era firme e fixa, e por isso era natural presumir que os corpos celestes se moviam em relação a uma terra estática e não o contrário. Conseqüentemente, os antigos astrônomos desenvolveram uma visão de mundo na qual a Terra era um globo central, estático, com o universo girando ao seu redor.

Tabela 1

As medições feitas por Eratóstenes, Aristarco e Anaxágoras eram imprecisas, assim a tabela abaixo corrige os valores previamente citados fornecendo valores modernos das várias distâncias e diâmetros.

Circunferência da Terra	40.100 km = $4,01 \times 10^4$ km
Diâmetro da Terra	12.750 km = $1,275 \times 10^4$ km
Diâmetro da Lua	3.480 km = $3,48 \times 10^3$ km
Diâmetro do Sol	1.390.000 km = $1,39 \times 10^6$ km
Distância Terra — Lua	384.000 km = $3,84 \times 10^5$ km
Distância Terra — Sol	150.000.000 km = $1,50 \times 10^8$ km

Esta tabela também serve como introdução para a *notação exponencial*, um modo de escrever números muito grandes — e em cosmologia existem alguns números muito, muito grandes

$10^1$ quer dizer 10	= 10
$10^2$ quer dizer $10 \times 10$	= 100
$10^3$ quer dizer $10 \times 10 \times 10$	= 1.000
$10^4$ quer dizer $10 \times 10 \times 10 \times 10$	= 10.000

A circunferência da Terra, por exemplo, pode ser escrita como:

$$40.100 \text{ km} = 4,01 \times 10.000 \text{ km} = 4,01 \times 10^4 \text{ km}.$$

A notação exponencial é uma maneira excelente de escrever números de modo conciso e sem usar um monte de zeros. Outro modo de pensar em  $10^N$  é como 1 seguido por  $N$  zeros, de modo que  $10^3$  é 1 seguido de três zeros que dá 1.000

A notação exponencial também é usada para escrever números muito pequenos:

$10^{-1}$ significa $1 \div 10$	= 0,1
$10^{-2}$ significa $1 \div (10 \times 10)$	= 0,01
$10^{-3}$ significa $1 \div (10 \times 10 \times 10)$	= 0,001
$10^{-4}$ significa $1 \div (10 \times 10 \times 10 \times 10)$	= 0,0001
etc.	

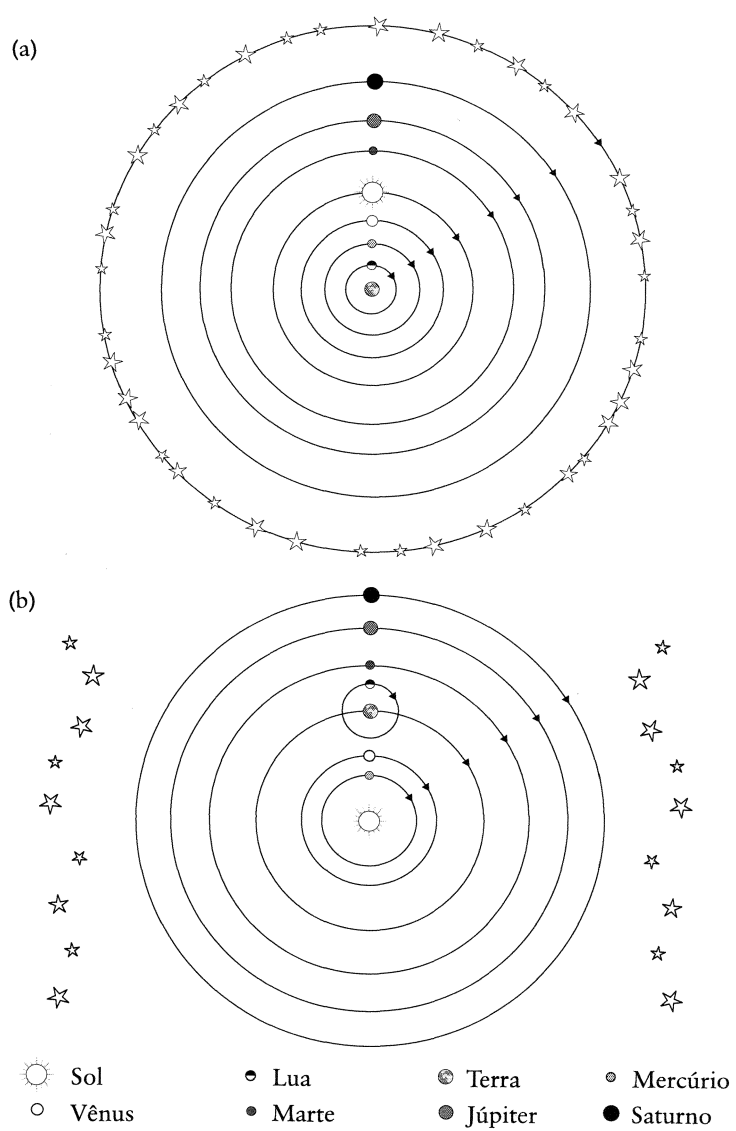
Na realidade, é a Terra que se move em torno do Sol, e não o Sol que se move em torno da Terra, mas ninguém considerou esta possibilidade até que Filolau, de Crotona, entrasse no debate. Seguidor da escola pitagórica no século V a.C., ele foi o primeiro a sugerir que a Terra orbitava o Sol, e não vice-versa. No século seguinte, Heráclides do Ponto aperfeiçoou as idéias de Filolau, ainda que seus amigos pensassem que ele era louco, apelidando-o de *paradoxolog*, “o criador de paradoxos”. Os toques finais à sua visão do universo foram acrescentados por Aristarco, que nasceu no ano 310 a.C., no mesmo ano em que Heráclides morreu.

Embora Aristarco tenha contribuído para medir a distância até o Sol, esta foi uma realização menor comparada a sua concepção espantosamente precisa do universo. Ele tentava desalojar a visão instintiva (embora incorreta) do universo, na qual a Terra é o centro de tudo, como mostrado na figura 6(a). Em contraste, a visão de Aristarco, menos óbvia (embora correta), tem a Terra correndo em torno de um Sol mais dominante, como mostrado na figura 6(b). Aristarco também estava certo quando declarou que a Terra gira em torno de seu eixo a cada 24 horas, o que explica por que a cada dia encaramos o Sol, enquanto a cada noite olhamos na direção oposta.

Aristarco foi um filósofo muito respeitado, e suas idéias sobre a astronomia se tornaram bem conhecidas. De fato, sua crença num universo centrado no Sol foi documentada por Arquimedes, que escreveu: “Ele tem a hipótese de que as estrelas fixas e o Sol permanecem imóveis; e que a Terra se move em torno do Sol seguindo a circunferência de um círculo”. E, no entanto, os filósofos abandonaram completamente essa visão bem precisa do sistema solar, e a idéia de um mundo com o Sol no centro desapareceu pelos 1.500 anos seguintes. Supõe-se que os antigos gregos eram inteligentes, então por que rejeitaram a visão de mundo de Aristarco e preferiram um universo centrado na Terra?

Atitudes egocêntricas podem ter contribuído para a predominância da visão de mundo geocêntrica, mas existem outros motivos para se preferir um universo centrado na Terra em lugar do universo centrado no Sol de Aristarco. Um problema básico para a idéia de um mundo centrado no Sol é que ela parece simplesmente ridícula. Parece muito óbvio que o Sol gira em torno de uma Terra estática e não o contrário. Resumindo, o universo com o Sol no centro se chocava com o bom senso. Os bons cientistas, entretanto,





**Figura 6** O diagrama (a) mostra o modelo clássico e incorreto do universo centrado na Terra, no qual a Lua, o Sol e os outros planetas orbitam a Terra. Até mesmo os milhares de estrelas orbitam a Terra. O diagrama (b) mostra a visão de Aristarco do universo centrado no Sol, com apenas a Lua orbitando a Terra. Nesse caso, as estrelas formam o fundo estático do universo

não devem ser abalados pelo bom senso porque às vezes ele tem pouco a ver com a verdade científica subjacente. Albert Einstein condenou o bom senso, declarando que ele é “a coleção de preconceitos adquiridos aos 18 anos”.

Outro motivo para os gregos rejeitarem o sistema solar de Aristarco foi sua aparente incapacidade de suportar a investigação científica. Aristarco tinha criado um modelo de universo que devia corresponder à realidade, mas não estava claro se este modelo era preciso. Será que a Terra de fato orbitava o Sol? Os críticos apontavam três falhas aparentes no modelo centrado no Sol de Aristarco.

Em primeiro lugar, os gregos acreditavam que, se a Terra se movesse, nós sentiríamos o vento a soprar constantemente contra nós e seríamos derrubados quando o solo corresse sob nossos pés. E, no entanto, não sentimos esse vento constante, nem o solo foge sob nossos pés, daí os gregos concluírem que a Terra devia ser estática. É claro que a Terra se move, e o motivo pelo qual não percebemos sua fantástica velocidade através do espaço é que tudo na Terra se move com ela, incluindo nós, a atmosfera e o solo. Os gregos não conseguiram compreender esse argumento.

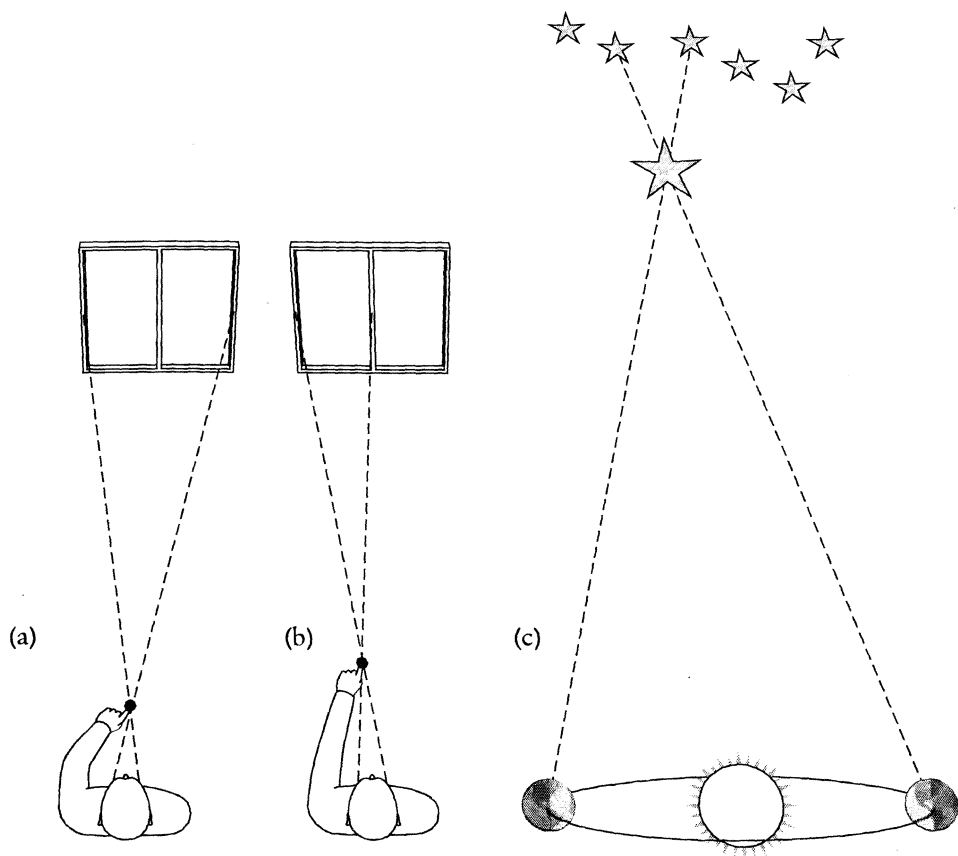
O segundo ponto problemático era que uma Terra móvel era incompatível com a compreensão grega da gravidade. Como mencionamos antes, a idéia tradicional era de que tudo tendia a se mover em direção ao centro do universo, e a Terra já estava no centro, por isso não se movia. Essa teoria fazia sentido perfeitamente, pois explicava que as maçãs caíam das árvores em direção ao centro da Terra porque estavam sendo atraídas para o centro do universo. Mas, se o Sol fosse o centro do universo, então por que os objetos caíam em direção à Terra? Nesse caso, as maçãs não deviam cair das árvores e sim serem sugadas em direção ao Sol — de fato, tudo na Terra devia cair em direção ao Sol. Hoje em dia temos uma compreensão mais clara da gravidade, que torna um sistema solar centrado no Sol muito mais sensato. A moderna teoria da gravidade descreve de que forma objetos próximos da Terra maciça são atraídos para a Terra, enquanto, por sua vez, os planetas são mantidos em órbita pela atração de um Sol ainda mais maciço. Mas, novamente, tal explicação estava além de limitada estrutura científica dos gregos.

O terceiro motivo para os filósofos gregos rejeitarem o universo centrado no Sol era a aparente ausência de qualquer mudança nas posições das estre-

las. Se a Terra viajava imensas distâncias em torno do Sol, então, deveríamos observar o universo de posições diferentes ao longo do ano. Nosso ponto de observação móvel resultaria numa mudança na perspectiva do universo, e as estrelas deveriam se mover umas em relação às outras, o que é conhecido como *paralaxe estelar*. É possível perceber o efeito da paralaxe num nível local simplesmente colocando um dedo a alguns centímetros de nosso rosto. Feche o olho esquerdo e use o direito para alinhar seu dedo em relação a um objeto próximo, talvez a beirada de uma janela. Em seguida, feche o olho direito e abra o esquerdo e você verá que o dedo se deslocou para a direita em relação à borda da janela. Troque o ponto de observação de um olho para o outro e seu dedo parecerá saltar de um lado para o outro. Assim, mudar o ponto de observação de um olho para o outro, o que equivale a uma distância de alguns centímetros, desloca a posição aparente de seu dedo em relação a outro objeto. Isso é ilustrado na Figura 7(a).

A distância da Terra ao Sol é de 150 milhões de quilômetros, assim, se a Terra orbitasse o Sol então ela estaria a 300 milhões de quilômetros de distância de sua posição original ao final de seis meses. Os gregos descobriram ser impossível detectar qualquer mudança nas posições das estrelas. Elas deveriam se deslocar umas em relação às outras, durante o período de um ano, com a enorme mudança de perspectiva que deveria resultar caso a Terra orbitasse o Sol. Uma vez mais os indícios pareciam apontar para uma conclusão de que a Terra não se movia e era o centro do universo. É claro que a Terra orbita o Sol, e a paralaxe estelar existe, mas era imperceptível para os gregos porque as estrelas estão muito distantes. Podemos ver como a distância reduz o efeito da paralaxe repetindo a experiência de piscar os olhos, mas desta vez estendendo o braço de modo que o dedo fique a quase um metro de distância. Novamente use o olho direito para alinhar o dedo com a borda da janela. Dessa vez, quando trocar o ponto de vista para o olho esquerdo, a mudança de paralaxe será muito menos significativa do que antes, porque seu dedo está mais afastado, como ilustrado na figura 7(b). Em resumo, a Terra se move, mas a mudança de paralaxe rapidamente se reduz com a distância, e as estrelas estão muito distantes, assim, a paralaxe estelar não podia ser detectada com instrumentos primitivos.

Na época, os indícios contra o modelo de Aristarco, de um universo



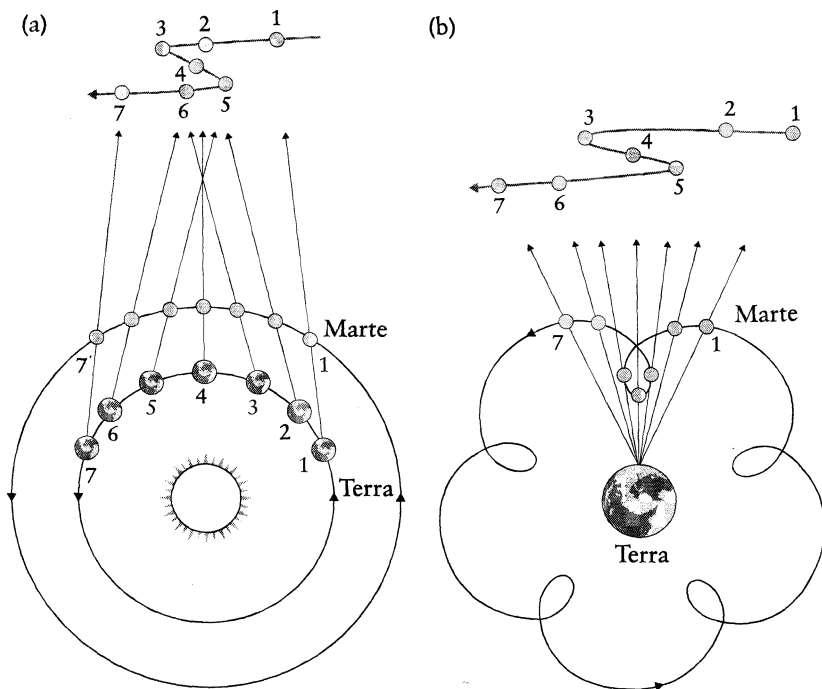
**Figura 7** Paralaxe é a mudança aparente na posição de um objeto devido a uma mudança no ponto de visada do observador. O diagrama (a) mostra como um dedo se alinha com a borda da janela esquerda quando visto com o olho direito, mas muda quando visto com o outro olho. O diagrama (b) mostra que a mudança de paralaxe provocada pela mudança entre os olhos se reduz significativamente se o dedo estiver mais distante. Como a Terra orbita o Sol, nosso ponto de observação muda, se uma estrela servir de marcador, então sua posição deveria mudar em relação às estrelas mais distantes no decorrer de um ano. O diagrama (c) mostra como a estrela marcadora se alinha com dois fundos estelares diferentes dependendo da posição da Terra. Contudo, se o diagrama (c) fosse desenhado em escala, então as estrelas estariam a mais de um quilômetro acima do topo da página! Portanto, a mudança de paralaxe seria minúscula e imperceptível para os gregos antigos. Os gregos achavam que as estrelas estavam muito mais próximas, assim, para eles, uma ausência na mudança de paralaxe implicava uma Terra estática.

centrado no Sol, pareciam irresistíveis, portanto é bem compreensível que todos os seus amigos filósofos tenham permanecido leais ao modelo centrado na Terra. Seu modelo tradicional parecia perfeitamente sensato, racional e coerente. Eles estavam satisfeitos com sua visão do universo e seu lugar dentro dele. Contudo, havia uma questão importante. É bem certo que o Sol, a Lua e as estrelas parecem marchar obedientemente em torno da Terra, mas havia cinco corpos celestes que vagueavam meio a esmo pelo céu. De vez em quando, um deles até mesmo se atrevia a parar momentaneamente, antes de reverter a direção de seu movimento por um tempo, num recuo conhecido como *movimento retrógrado*. Esses rebeldes errantes eram os cinco planetas conhecidos: Mercúrio, Vênus, Marte, Júpiter e Saturno. De fato, a palavra “planeta” deriva do grego *planetes*, que significa errante.

De modo semelhante, o termo babilônio para planeta era *bibbu*, literalmente “carneiro selvagem” — porque os planetas pareciam perdidos no céu. E os antigos egípcios chamavam Marte de *sekded-ef em khetkhet*, que significa “aquele que viaja para trás”.

Na nossa moderna perspectiva da Terra orbitando o Sol, é fácil entender o comportamento desses vagabundos celestes. Na realidade, os planetas orbitam o Sol de modo constante, mas os observamos a partir de uma plataforma móvel, a Terra, e é por isso que seus movimentos parecem irregulares. Em especial os movimentos retrógrados exibidos por Marte, Saturno e Júpiter são fáceis de explicar. A figura 8(a) mostra um sistema solar simplificado contendo apenas o Sol, a Terra e Marte. A Terra orbita o Sol mais rapidamente do que Marte, e, à medida que alcançamos Marte e o ultrapassamos, nossa linha de visada de Marte oscila para trás e para a frente. Contudo, na velha perspectiva centrada na Terra, segundo a qual estamos no centro do universo e tudo gira em torno de nós, a órbita de Marte era um enigma. Parecia que Marte, como mostrado na figura 8(b), descrevia um laço de modo muito peculiar enquanto orbitava a Terra. Saturno e Júpiter também tinham movimentos retrógrados semelhantes, que os gregos igualmente representavam por órbitas em forma de laço.

Essas órbitas planetárias enlaçadas eram tremendamente problemáticas para os antigos gregos, porque todas as órbitas deviam ser circulares, de acordo com Platão e seu discípulo Aristóteles. Eles afirmavam que o círculo,



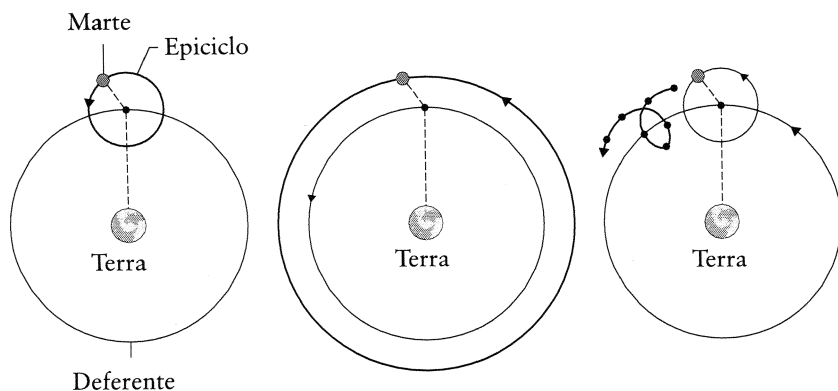
**Figura 8** Planetas como Marte, Júpiter e Saturno apresentam o chamado movimento retrógrado quando vistos da Terra. O diagrama (a) mostra um Sistema Solar simplificado para conter apenas a Terra e Marte orbitando (no sentido contrário ao dos ponteiros do relógio) em torno do Sol. Da posição 1 veríamos Marte cada vez mais à nossa frente, o que continuaria da posição 2. Mas, na posição 3, Marte pára e na posição 4 ele agora está se movendo para a direita, e ainda mais para a direita quando a Terra chega à posição 5. Acontece então outra pausa antes que Marte retome sua direção original de movimento, como visto das posições 6 e 7. É claro que Marte está se movendo continuamente em torno do Sol no sentido contrário aos ponteiros do relógio, mas o planeta parece estar ziguezagueando devido aos movimentos relativos da Terra e de Marte. O movimento retrógrado faz sentido quando num modelo do universo centrado no Sol.

O diagrama (b) mostra como os adeptos do modelo centrado na Terra percebiam a órbita de Marte. O ziguezague do planeta era interpretado como uma órbita realmente em forma de laço. Em outras palavras, os tradicionalistas acreditavam que a Terra, estática, ficava no centro do universo, enquanto Marte descrevia laços em torno da Terra.

com sua simplicidade, beleza e ausência de princípio ou fim, era a forma perfeita, e como os céus eram o reino da perfeição, então todos os corpos celestes tinham que viajar em círculo. Vários astrônomos e matemáticos examinaram o problema e, ao longo de vários séculos, desenvolveram uma solução habilidosa — um modo de descrever as órbitas planetárias em termos de uma combinação de círculos, que estava de acordo com a lei de Platão e Aristóteles sobre a perfeição circular. A solução acabou associada ao nome de um astrônomo, Ptolomeu, que viveu em Alexandria no século II.

A visão de mundo de Ptolomeu começava com a suposição, amplamente aceita, de que a Terra estava no centro do Universo e estacionária, de outro modo “todos os animais e todos os pesos soltos seriam deixados para trás, flutuando no ar”. Em seguida ele explicava as órbitas do Sol e da Lua em termos de simples círculos. Então, para explicar o movimento retrógrado, ele desenvolveu a teoria dos círculos dentro de círculos, como ilustrado na figura 9. Para gerar uma órbita com um movimento retrógrado periódico, tal como a seguida por Marte, Ptolomeu propunha começar com um único círculo (conhecido como *deferente*), com uma haste presa ao círculo de modo a girar. O planeta então ocupava uma posição na extremidade dessa haste giratória. Se o círculo deferente principal permanecesse fixo, a haste giraria em torno desse pino e o planeta descreveria uma órbita circular com um raio curto (conhecido como *epiciclo*), como mostrado na figura 9(a). De outra forma, se o círculo deferente principal girasse e a haste permanecesse fixa, então o planeta seguiria uma trajetória circular com um raio maior, como mostrado na figura 9(b). Contudo, se a haste girasse em torno de seu eixo e ao mesmo tempo o eixo girasse junto com o círculo deferente principal, então a trajetória do planeta seria uma mistura de seus movimentos em torno dos dois círculos, o que imita um laço retrógrado, como mostrado na figura 9(c).

Embora tal descrição de círculos e eixos transmita a idéia central do modelo de Ptolomeu, era na verdade muito mais complicada. Para começar, Ptolomeu imaginou seu modelo em três dimensões e construído com esferas de cristal, mas, para simplificar, vamos continuar a raciocinar em termos de círculos bidimensionais. Também, de modo a explicar os movimentos retrógrados dos vários planetas, Ptolomeu tinha que ajustar cuidadosamente o



**Figura 9** O modelo ptolomaico do universo explicava as órbitas enlaçadas de planetas como Marte usando combinações de círculos. O diagrama (a) mostra o círculo principal, chamado de deferente, e uma vareta giratória com um planeta em sua extremidade. Se o deferente não girar, mas a vareta girar, o planeta descreverá um círculo menor, marcado em negrito, na ponta da vareta, que é chamado de epíciclo.

O diagrama (b) mostra o que acontece se a vareta giratória permanecer fixa e o deferente girar. O planeta descreverá um círculo com um raio maior.

O diagrama (c) mostra o que acontece se a vareta girar em torno de seu ponto de fixação e o ponto girar com o deferente. Dessa vez o epíciclo ficará sobreposto ao deferente e a órbita do planetas será uma combinação dos dois movimentos circulares, o que resultará em uma órbita retrógrada associada a planetas como Marte. O raio do epíciclo e do deferente podem ser ajustados e as duas velocidades de rotação podem ser escolhidas para imitar a trajetória de qualquer planeta.

raio do deferente e do epíciclo para cada planeta, e selecionar a velocidade com que cada um girava. Para uma precisão ainda maior, ele introduziu dois outros elementos variáveis. O excêntrico, definido como um ponto ao lado da Terra que agia como um centro levemente deslocado para o círculo deferente, enquanto o *equante* definia outro ponto próximo da Terra cuja influência contribuía para a velocidade variável do planeta. É difícil imaginar essa explicação, cada vez mais complicada, para as órbitas planetárias, mas, essencialmente, ela consistia em nada mais do que círculos em cima de círculos, e dentro de mais círculos.

A melhor analogia para o modelo de universo de Ptolomeu pode ser encontrada num parque de diversões. A Lua segue uma trajetória simples, como um cavalo num carrossel tranqüilo para crianças pequenas. Mas a tra-



jetória de Marte parece mais um atordoante passeio num carrossel rodopiante, que prende a pessoa numa gôndola que gira em torno da extremidade de um longo braço giratório. E o passageiro segue uma trajetória circular enquanto a gôndola gira, mas ao mesmo tempo está seguindo uma trajetória circular maior, na extremidade do braço maior. Em algumas ocasiões, os dois movimentos se combinam, produzindo uma velocidade ainda mais elevada para a frente; em outras, a gôndola se move para trás em relação ao braço, e sua velocidade é reduzida ou mesmo invertida. Na terminologia ptolomaica, a gôndola gira em torno de um epiciclo, enquanto o braço maior descreve um deferente.

O modelo ptolomaico de universo centrado na Terra foi elaborado para se ajustar à crença de que tudo gira em torno da Terra e de que todos os objetos celestes seguem trajetórias circulares. Isso resultou num modelo terrivelmente complexo, cheio de epiciclos que se empilhavam sobre deferentes, equantes e excêntricos. Em *Os sonâmbulos*, uma história dos primórdios da astronomia escrita por Arthur Koestler, o modelo ptolomaico é descrito como “o produto de uma filosofia cansada e de uma ciência decadente”. Mas, apesar de estar fundamentalmente errado, o modelo ptolomaico satisfazia uma das exigências básicas de um modelo científico, já que previa a posição e o movimento de cada planeta com um grau de precisão maior do que qualquer modelo anterior. Até mesmo o modelo de Aristarco, centrado no Sol, que é basicamente correto, não era capaz de prever os movimentos dos planetas com tal precisão. Por isso, não é surpreendente que o modelo de Ptolomeu tenha permanecido, enquanto o de Aristarco desaparecia. A Tabela 2 resume as principais forças e fraquezas dos dois modelos, como entendido pelos antigos gregos, e só serve para reforçar a aparente superioridade do modelo centrado na Terra.

O modelo centrado na Terra de Ptolomeu foi perpetuado através de seu *Hè megalè syntaxis* (A grande coleção), escrito em torno do ano 150 e que se tornou o texto mais importante da astronomia nos séculos seguintes. De fato, no milênio que se seguiu, todos os astrônomos da Europa foram influenciados pelo *Syntaxis* e nenhum deles questionou seriamente sua imagem do universo centrado na Terra. O *Syntaxis* atingiu um público ainda maior no ano 827, quando foi traduzido para o árabe e rebatizado *Almagesto*.

(O maior). E assim, durante a estagnação acadêmica da Idade Média européia, as idéias de Ptolomeu foram mantidas vivas e estudadas pelos grandes estudiosos islâmicos do Oriente Médio. Durante a era de ouro do império islâmico, os astrônomos árabes inventaram muitos instrumentos astronômicos, fizeram observações significativas do céu e construíram vários observatórios importantes, como o al-Shammasiyyah, em Bagdá, mas nunca duvidaram do universo centrado na Terra de Ptolomeu, com suas órbitas planetárias definidas por círculos dentro de círculos dentro de círculos.

À medida que a Europa finalmente começava a emergir de seu sono intelectual, o antigo conhecimento dos gregos foi exportado de volta para o Ocidente através da cidade moura de Toledo, na Espanha, onde existia uma magnífica biblioteca islâmica. Quando a cidade foi tomada dos mouros pelo rei espanhol Afonso VI, em 1085, estudiosos de toda a Europa tiveram a oportunidade inédita de acessar um dos mais importantes depósitos de conhecimento do mundo. A maior parte do conteúdo da biblioteca estava escrita em árabe, assim, a primeira prioridade foi estabelecer um departamento de tradução em escala industrial. A maioria dos tradutores trabalhava com a ajuda de um intermediário para traduzir do árabe para o vernáculo espanhol, e então para o latim. Mas um dos tradutores mais brilhantes e prolíficos foi Gerard de Cremona, que aprendera o árabe, de modo que podia conseguir uma interpretação mais direta e precisa. Ele tinha sido atraído para Toledo pelos boatos de que a obra-prima de Ptolomeu poderia ser encontrada na biblioteca, e, dos 76 livros seminais que ele traduziu do árabe para o latim, o *Almagesto* é sua realização mais significativa.

Graças aos esforços de Gerard e outros tradutores, os estudiosos europeus conseguiram familiarizar-se com os escritos do passado, e a pesquisa astronômica na Europa foi revigorada. Paradoxalmente, o progresso foi sufocado, porque havia uma reverência tão grande pelos trabalhos dos antigos gregos que ninguém se atrevia a questioná-los. Presumia-se que os estudiosos clássicos tinham dominado tudo o que podia ser conhecido, e, assim, livros como o *Almagesto* eram lidos como se fossem sagrados. E isso apesar do fato de os antigos terem cometido os maiores erros imagináveis. Por exemplo, os textos de Aristóteles eram considerados sagrados, apesar de ele declarar que os homens tinham mais dentes que as mulheres. Uma generalização

baseada na observação de que os cavalos têm mais dentes do que as éguas. Embora tivesse se casado duas vezes, Aristóteles aparentemente nunca se deu ao trabalho de olhar a boca de uma de suas esposas. Ele pode ter sido um lógico excepcional, mas não compreendia os conceitos de observação e experimentação. A ironia de tudo isso é que os acadêmicos tinham esperado durante séculos para recuperar a sabedoria dos antigos — e agora teriam que passar séculos desaprendendo os erros dos antigos. De fato, depois da tradução do *Almagesto* por Gerard, em 1175, o modelo de Ptolomeu do universo centrado na Terra sobreviveu intacto por mais quatrocentos anos.

Tabela 2

Esta tabela enumera os vários critérios sob os quais os modelos centrados na Terra e centrados no Sol podem ser julgados, com base no que era conhecido no primeiro milênio antes de Cristo. Os vês e as cruzes dão indicações aproximadas do desempenho de cada teoria em relação aos sete critérios, e os pontos de interrogação indicam ausência de dados ou uma mistura de acordo e desacordo. Do ponto de vista dos antigos, o modelo centrado no Sol se sai melhor em apenas uma área (simplicidade), ainda que agora saibamos estar mais próximo da realidade.

Critério	Modelo centrado na Terra	Sucesso
1. Bom senso	Parece óbvio que tudo gira em torno da Terra	✓
2. Consciência de movimento	Não detectamos nenhum movimento portanto a Terra não pode estar se movendo.	✓
3. Cair no solo	A centralidade da Terra explica por que objetos parecem cair ao solo, ou seja, os objetos estão sendo atraídos para o centro do universo.	✓
4. Paralaxe estelar	Não se detecta a paralaxe estelar e sua ausência é compatível com uma Terra estática e um observador estacionário	✓

5. Previsão de órbitas planetárias	Muito aproximadas, as melhores já obtidas.	√
6. Movimento retrógrado dos planetas	Explicado com epiciclos e deferentes.	√
7. Simplicidade	Muito complicado — epiciclos deferentes, equantes e excêntricos.	X

<b>Critério</b>	<b>Modelo centrado no Sol</b>	<b>Sucesso</b>
1. Bom senso	É necessário um salto de imaginação e lógica para ver que a Terra pode girar ao redor do Sol.	X
2. Consciência de movimento	Não percebemos nenhum movimento, o que não é fácil de explicar se a Terra está se movendo.	X
3. Cair no solo	Não há explicação óbvia para o fato de os objetos caírem ao solo num modelo em que a Terra não fica no centro.	X
4. Paralaxe estelar	A Terra se move, assim a ausência aparente de paralaxe estelar deve ser decorrente das imensas distâncias; espera-se que a paralaxe seja detectada com equipamento melhor.	?
5. Previsão de órbitas planetárias	Bons resultados, mas não tão bons como no modelo centrado na Terra	?
6. Movimento retrógrado dos planetas	Uma consequência natural do movimento da Terra e do nosso ponto de vista	√
7. Simplicidade	Muito simples — tudo percorre círculos	√

Nesse meio-tempo, contudo, algumas críticas menores foram feitas por personalidades como Afonso X, rei de Castela e Leão (1221-84). Tendo transformado Toledo em sua capital, ele pediu aos astrônomos que elaborassem o que ficou conhecido como *Tabelas alfonsinas* dos movimentos planetários, baseadas em suas próprias observações e em tabelas traduzidas do árabe. Embora fosse um forte patrono da astronomia, Alfonso permanecia desapontado com o intrincado sistema de Ptolomeu de deferentes, epiciclos, equantes e excêntricos: “Se o Senhor Todo-poderoso tivesse me consultado antes de iniciar a Criação, eu teria recomendado alguma coisa mais simples”.

Então, no século XIV, Nicole d’Oresme, capelão de Carlos V, da França, declarou abertamente que a idéia de um universo centrado na Terra ainda não tinha sido provada completamente, ainda que não chegasse a dizer que acreditava estar errada. E, na Alemanha do século XV, o cardeal Nicolau de Cusa sugeriu que a Terra não era o centro do universo, mas evitou sugerir que o Sol ocupasse o trono vago.

O mundo teria que esperar até o século XVI antes que um astrônomo tivesse a coragem de rearrumar o universo e desafiar seriamente a cosmologia dos gregos. O homem que acabaria por reinventar o universo centrado no Sol, de Aristarco, foi batizado Mikolaj Kopernik, mas é mais conhecido pela forma de Nicolau Copérnico.

## A Revolução

Nascido em 1473, em uma próspera família de Torun, às margens do Vístula, na atual Polônia, Copérnico foi nomeado cônego da catedral de Frauemburgo, principalmente devido à influência de seu tio Lucas, que era bispo de Ermland. Tendo estudado direito e medicina na Itália, sua tarefa principal como cônego era agir como médico e secretário de Lucas. Essas não eram responsabilidades que exigissem muito de seu tempo, e Copérnico ficava livre para se dedicar a várias atividades. Tornou-se um especialista em economia e conselheiro na reforma monetária e até mesmo publicou suas próprias traduções para o latim do obscuro poeta grego Teofilactus Simocates.

Entretanto, a grande paixão de Copérnico era a astronomia, que o inte-

ressava desde que comprara um exemplar das *Tabelas alfonsinas* quando era estudante. Esse astrônomo amador logo estaria cada vez mais obcecado com o estudo dos movimentos dos planetas e suas idéias acabariam por torná-lo uma das figuras mais importantes da história da ciência.

Surpreendentemente, toda a pesquisa astronômica de Copérnico está contida em uma publicação e meia. E, o que é mais curioso, esse livro e meio quase não foi lido durante sua vida. O meio se refere ao seu primeiro trabalho, o *Commentariolus* (“Pequeno Comentário”), escrito à mão e nunca publicado. Ele circulou entre poucas pessoas por volta de 1514. Não obstante, em apenas vinte páginas, Copérnico sacudia o cosmos com a idéia mais radical a aparecer na astronomia no curso de mil anos. No âmago de seu folheto estavam sete axiomas sobre os quais ele baseara sua visão do universo:

1. Os corpos celestes não partilham de um centro comum.
2. O centro da Terra não é o centro do universo.
3. O centro do universo fica perto do Sol.
4. A distância da Terra ao Sol é insignificante comparada com a distância até as estrelas.
5. O movimento diário aparente das estrelas é o resultado da rotação da Terra em torno de seu eixo.
6. A seqüência anual aparente de movimentos do Sol é o resultado de uma revolução da Terra em torno dele. Todos os planetas giram em torno do Sol.
7. O movimento retrógrado aparente de alguns dos planetas é apenas o resultado de nossa posição como observadores em uma Terra móvel.

Os axiomas de Copérnico eram notáveis em todos os aspectos. A Terra gira, a Terra e os outros planetas se movem em torno do Sol, isso explica as órbitas planetárias retrógradadas, a incapacidade de qualquer paralaxe estelar é devida à grande distância das estrelas. Não está claro o que levou Copérnico a formular esses axiomas, rompendo com a visão tradicional do mundo, mas talvez ele tenha sido influenciado por um de seus professores na Itália, Domenico Maria de Novara. Novara era receptivo à tradição pitagórica, que estava nas raízes da filosofia de Aristarco. E fora Aristarco o primeiro a propor o modelo centrado no Sol, 1.700 anos antes.

O *Commentariolus* era um manifesto em prol de um motim astronômico, uma expressão da frustração de Copérnico e de sua desilusão com a feia complexidade do antigo modelo ptolomaico. Mais tarde, ele condenaria a natureza improvisada do modelo centrado na Terra nos seguintes termos: “É como se um artista produzisse as mãos, pés, cabeça e outros membros de suas imagens a partir de modelos diversos, cada parte perfeitamente desenhada, mas pertencente a corpos diferentes, e, como elas não correspondem umas às outras, o resultado seria um monstro e não um homem.” Entretanto, apesar de seu conteúdo radical, o folheto não provocou reações entre os intelectuais europeus, em parte por ter sido lido por tão poucas pessoas, e parcialmente porque seu autor era um cônego sem importância, que trabalhava nas fronteiras da Europa.

Copérnico não ficou desapontado, já que este era apenas o início de seus esforços para transformar a astronomia. Depois que seu tio Lucas morreu, em 1512 (possivelmente envenenado, pelos Cavaleiros Teutônicos, que o descreveram como “o diabo em forma humana”), ele ficou com mais tempo ainda para se dedicar aos estudos. Mudou-se para o castelo de Frauenburgo, montou um pequeno observatório e concentrou-se na tarefa de reforçar seus argumentos, acrescentando todos os detalhes matemáticos que faltavam no *Commetariolus*.

Copérnico passou os trinta anos seguintes reescrevendo o seu *Commentariolus* e expandindo-o até transformá-lo num manuscrito de duzentas páginas. Durante esse prolongado período de pesquisas, passou muito tempo preocupado em relação ao modo como os outros astrônomos reagiriam ao seu modelo do universo, que era fundamentalmente contrário à sabedoria aceita. Houve muitos dias em que até considerou a possibilidade de abandonar seus planos de publicar o trabalho com medo de ser ridicularizado. Além disso, ele suspeitava de que os teólogos seriam totalmente intolerantes com o que considerariam uma especulação científica sacrílega.

Ele estava certo em se preocupar. Posteriormente a Igreja demonstrou sua intolerância ao processar o filósofo italiano Giordano Bruno, que fazia parte da geração de dissidentes que se seguiu a Copérnico. A Inquisição acusou Bruno de oito heresias, mas os registros existentes não especificam quais eram. Os historiadores acham provável que Bruno tenha ofendido a

Igreja ao escrever *Do universo infinito e seus mundos*, em que afirmava que o universo é infinito, que as estrelas têm seus próprios planetas e que a vida se desenvolve nesses planetas. Quando condenado à morte por seus crimes ele respondeu: “Possivelmente vocês, que pronunciam a minha sentença, sentem mais medo do que eu, que a recebo”. No dia 17 de fevereiro de 1600, ele foi levado para o Campo dei Fiori em Roma, despido, amarrado nu a uma estaca, amordaçado e então queimado vivo.

O medo que Copérnico tinha de ser perseguido poderia ter levado a um fim prematuro de suas pesquisas, mas felizmente um jovem estudioso alemão da cidade de Wittenberg entrou em ação. Em 1539, Georg Joachin von Lauchen, conhecido como Rético, viajou até Frauenburgo para se encontrar com Copérnico e aprender mais sobre seu modelo cosmológico. Foi um ato audacioso porque não apenas o jovem acadêmico luterano enfrentava uma recepção hesitante na católica Frauenburgo, mas seus próprios colegas não viam sua missão com bons olhos. O sentimento geral é exemplificado por Martinho Lutero, que deixou o registro de uma conversa na mesa de jantar a respeito de Copérnico: “Fala-se de um novo astrônomo que deseja provar que a Terra se move e gira no lugar do céu, do Sol e da Lua, exatamente como alguém se movendo em uma carruagem ou num navio pode imaginar que está imóvel enquanto o solo e as árvores se deslocam e se movem...O tolo quer virar de cabeça para baixo toda a arte da astronomia”.

Lutero chamou Copérnico de “um tolo que vai contra a Sagrada Escritura”, mas Rético compartilhava da inabalável confiança de Copérnico de que o caminho para a verdade celestial estava na ciência e não nas escrituras. Com 66 anos de idade, Copérnico ficou lisonjeado pelo interesse do rapaz de 25 anos, que passou três anos em Frauenburgo lendo o manuscrito de Copérnico, e fornecendo-lhe apoio e comentários.

Em 1541, a combinação de diplomacia e talento astronômico de Rético foi suficiente para que ele conseguisse a aprovação de Copérnico para levar o manuscrito até a gráfica de Johannes Petreius, em Nuremberg, para ser impresso e publicado. Ele tinha planejado ficar lá para supervisionar todo o processo de impressão, mas repentinamente foi chamado a Leipzig para cuidar de um assunto urgente e assim passou a responsabilidade de supervisionar a publicação a um clérigo chamado Andreas Osiander. Finalmente, na



primavera de 1543, o *De revolutionibus orbium coelestium* (*Das revoluções das esferas celestes*) foi finalmente publicado, e várias centenas de exemplares foram enviadas a Copérnico.

Nesse meio-tempo, Copérnico tinha sofrido uma hemorragia cerebral no final de 1542 e estava na cama, lutando para se manter vivo tempo suficiente para ver terminado o livro contendo o trabalho de sua vida. Exemplares de seu tratado chegaram bem a tempo. Seu amigo Canon Giese escreveu uma carta para Rético descrevendo a situação de Copérnico: “Por muitos dias ele ficou privado de sua memória e de seu vigor; e só viu seu livro terminado no último momento, no dia em que morreu”.

Copérnico tinha completado o seu trabalho. Seu livro oferecia ao mundo um argumento convincente a favor do modelo centrado no Sol de Aristarco. O *De revolutionibus* era um tratado formidável, mas antes de examinar seu conteúdo é importante abordar dois mistérios que cercam sua publicação. O primeiro deles diz respeito aos agradecimentos incompletos de Copérnico. A introdução do *De revolutionibus* menciona várias pessoas, como o papa Paulo III, o cardeal de Cápua e o bispo de Kulm, e no entanto não há nenhuma menção a Rético, o brilhante aprendiz que desempenhara o papel vital de parteira no nascimento do modelo copernicano. Os historiadores não sabem por que seu nome foi omitido e só podem especular que dar crédito a um protestante poderia ter sido malvisto pela hierarquia católica a quem Copérnico queria impressionar. Uma consequência dessa falta de reconhecimento foi que Rético se sentiu desprezado e não quis mais ter nenhuma ligação com o *De revolutionibus* depois de sua publicação.

O segundo mistério envolve o prefácio do *De revolutionibus* que foi acrescentado ao livro sem o consentimento de Copérnico e que efetivamente retirava a substância de suas afirmações. Em resumo, o prefácio enfraquecia o resto do livro ao afirmar que as hipóteses de Copérnico “não precisam ser verdadeiras ou mesmo prováveis”. Este enfatizava os “absurdos” contidos no modelo centrado no Sol, insinuando com isso que a detalhada descrição matemática, cuidadosamente enunciada por Copérnico, não passava de uma ficção. O prefácio admite que o sistema copernicano é compatível com as observações em um grau razoável de precisão, mas deixa a teoria emasculada ao afirmar que se trata apenas de um modo conveniente para se

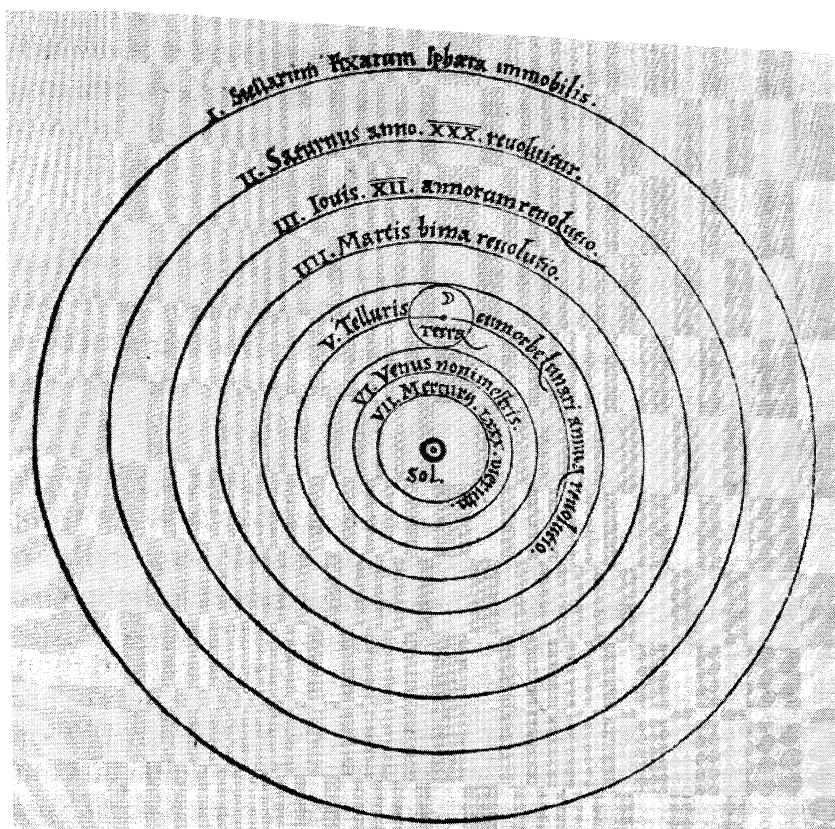


Figura 10 Este diagrama do livro *De revolutionibus*, de Copérnico, ilustra sua visão revolucionária do universo. O Sol está firmemente no eixo e é orbitado pelos planetas. A própria Terra é orbitada pela Lua e está localizada corretamente entre as órbitas de Vênus e Marte.

fazer os cálculos, e não uma tentativa de representar a realidade. O manuscrito original de Copérnico, escrito à mão, ainda existe, assim sabemos que a abertura original era bem diferente do prefácio impresso, que trivializou seu trabalho. O novo prefácio, portanto, deve ter sido inserido depois que Rético deixou Frauenburgo com o manuscrito. Isso significa que Copérnico estava em seu leito de morte quando o leu, e na ocasião o livro já tinha sido impresso e era tarde demais para fazer qualquer mudança. Talvez tenha sido a visão daquele prefácio que o mandou para o túmulo.

Assim, quem escreveu e inseriu o prefácio? O principal suspeito é Osiander, o clérigo que assumiu a responsabilidade pela publicação quando

Rético partiu de Nuremberg para Leipzig. É provável que ele acreditasse que Copérnico seria perseguido se suas idéias viessem a público, e ao que tudo indica inseriu o prefácio com a melhor das intenções, esperando que este acalmasse os críticos. Indícios das preocupações de Osiander podem ser encontrados em uma carta para Rético, na qual ele menciona os aristotélicos, referindo-se àqueles que acreditavam na visão de mundo centrada na Terra. “Os aristotélicos e os teólogos serão facilmente acalmados se forem informados de que... a presente hipótese não foi proposta por ser de fato verdadeira, mas porque esse é o modo mais conveniente para se calcular os movimentos compostos aparentes.”

Mas, em seu prefácio original, Copérnico fora bem claro em seu desejo de assumir uma postura desafiadora contra seus críticos: “É provável que haja tolos que, embora totalmente ignorantes na matemática, se considerem capazes de emitir julgamentos sobre questões matemáticas, distorcendo algumas passagens das Escrituras para servirem a seus propósitos e se atrevendo a encontrar falhas em meu empreendimento e a censurá-lo. Eu os desprezo ao ponto de considerar suas críticas como infundadas”.

Depois de finalmente reunir a coragem para publicar o desenvolvimento mais importante e controvertido da astronomia desde os antigos gregos, Copérnico morreu tragicamente, sabendo que Osiander tinha apresentado suas teorias como sendo nada mais do que um artifício. E, em consequência disso, o *De revolutionibus* iria desaparecer, quase sem deixar vestígios, nas primeiras décadas após sua publicação, já que nem o público nem a Igreja o levaram a sério. A primeira edição não esgotou, e o livro foi reimpresso apenas duas vezes no século seguinte. Em contraste com isso, livros promovendo o modelo ptolomaico foram reimpressos centenas de vezes na Alemanha no mesmo período.

Contudo, o prefácio covarde e conciliatório de Osiander foi apenas parcialmente culpado pela falta de impacto do *De revolutionibus*. Outro fator foi o terrível estilo literário de Copérnico, que resultara em quatrocentas páginas de texto complexo e denso. Pior ainda, esse era o seu primeiro livro sobre astronomia, e o nome Copérnico não era bem conhecido nos círculos acadêmicos europeus. Isso não teria sido desastroso se não fosse o fato de que Copérnico agora estava morto e não poderia promover seu trabalho. A

situação poderia ter sido salva por Rético, se ele tivesse defendido e divulgado o *De revolutionibus*, mas ele se sentira esnobado e não queria mais ter seu nome associado ao sistema copernicano.

Além disso, exatamente como acontecera na corporificação original do modelo de Aristarco, o *De revolutionibus* foi desprezado porque o sistema copernicano era menos preciso do que o modelo ptolomaico centrado na Terra, quando se tratava de prever as posições futuras dos planetas: e nesse aspecto o modelo basicamente correto não era páreo para seu rival fundamentalmente errado. Há dois motivos para esse estranho resultado. Em primeiro lugar, faltava ao modelo de Copérnico um ingrediente vital, sem o qual as previsões nunca seriam precisas o bastante para ganhar a aceitação. Em segundo lugar, o modelo de Ptolomeu tinha conquistado seu grau de precisão através de manipulações de todos aqueles epiciclos, deferentes, equantes e excêntricos, e quase todo modelo falho pode ser salvo se tais fatores de manipulação forem introduzidos.

E, claro, o modelo copernicano ainda era afetado por todos os problemas que tinham levado ao abandono do modelo centrado no Sol, de Aristarco (ver tabela 2, pp. 41-42). De fato, o único atributo do modelo centrado no Sol que o tornava claramente melhor do que o centrado na Terra ainda era a sua simplicidade. Embora Copérnico tivesse brincado com epiciclos, seu modelo, em essência, empregava uma única órbita circular para cada planeta, enquanto o modelo de Ptolomeu era muito complexo com seus epiciclos, deferentes, equantes e excêntricos precisamente sintonizados para cada planeta.

Felizmente para Copérnico, a simplicidade é uma qualidade valiosa na ciência, como fora exemplificado por William de Occam, um teólogo franciscano inglês do século XIV que ficou famoso durante sua vida por defender que as ordens religiosas não deveriam ter riquezas ou propriedades. Ele defendeu seus pontos de vista com tamanho fervor que foi expulso da Universidade de Oxford e teve que se mudar para Avignon, no sul da França, de onde acusou o papa João XII de heresia. Não nos surpreende que tenha sido excomungado. Depois de sucumbir à Peste Negra, de 1349, Occam ficou famoso postumamente por seu legado à ciência, conhecido como a navalha de Occam. Ele diz que, se existirem duas teorias rivais, ou explica-

ções de igual valor, a mais simples é a que tem mais chances de ser a correta. O que Occam enunciou como *pluralitas non est ponenda sine necessitate* (“pluralidade não deve ser proposta sem necessidade”).

Imagine, por exemplo, que depois de uma noite tempestuosa você encontra duas árvores caídas no meio de um campo, e não existe indício óbvio do que causou a queda. A hipótese mais simples, nesse caso, é a de que as árvores foram derrubadas pela tempestade. Uma hipótese mais complexa pode ser a de que dois meteoritos chegaram do mesmo tempo do espaço cósmico, cada um deles ricocheteando depois de derrubar uma das árvores para em seguida colidirem frontalmente. A colisão os teria vaporizado, o que explica a falta de qualquer evidência material. Ao aplicar a navalha de Occam, você decide que a hipótese da tempestade é uma explicação mais provável do que os meteoritos gêmeos, por ser a mais simples. A navalha de Occam não garante a resposta certa, mas geralmente aponta na direção dela. Os médicos freqüentemente se baseiam na navalha de Occam quando estão diagnosticando uma doença, e os estudantes de medicina recebem o conselho que diz: “Quando ouvir o som de cascos, pense em cavalos, não em zebras”. Por outro lado, os teóricos das conspirações desprezam a navalha de Occam, rejeitando uma explicação simples em favor de uma linha de raciocínio mais enigmática e intrigante.

A navalha de Occam favorecia o modelo copernicano (um círculo por planeta) em detrimento do ptolomaico (um epiciclo, deferente, equante e excêntrico para cada planeta), mas a navalha de Occam só é decisiva se as duas teorias forem igualmente bem-sucedidas e, no século XVI, o modelo ptolomaico era claramente mais forte em vários aspectos, o mais notável sendo que ele fazia previsões mais precisas das posições dos planetas. Assim, a simplicidade do modelo centrado no Sol era considerada irrelevante.

E, para muitas pessoas, o modelo centrado no Sol ainda era muito radical até para ser contemplado, tanto que o trabalho de Copérnico pode ter dado um novo significado para uma velha palavra. Uma teoria etimológica afirma que a palavra “revolucionário”, quando se refere a uma idéia totalmente contrária à sabedoria convencional, foi inspirada no título do livro de Copérnico *Sobre as revoluções das esferas celestes*. E, assim como revolucionário, o modelo centrado no Sol era considerado também completamente

impossível. É por isso que a palavra *köpperneksch* — baseada na forma alemã do nome Copérnico — tem sido usada, no norte da Bavária, para descrever uma proposta ilógica e inacreditável.

Em resumo, o modelo de um universo centrado no Sol era uma idéia adiante de seu tempo, muito revolucionária, muito inacreditável e ainda muito imprecisa para conseguir um amplo apoio. O *De revolutionibus* ficou repousando em algumas estantes, em alguns poucos gabinetes e foi lido por poucos astrônomos. A idéia do universo centrado no Sol fora primeiramente sugerida por Aristarco, no quinto século a.C., mas fora ignorada. Agora tinha sido reinventada por Copérnico e novamente ignorada. O modelo entrou em hibernação, esperando que alguém o ressuscitasse, examinasse, aperfeiçoasse e encontrasse o ingrediente perdido que provaria ao resto do mundo que o modelo copernicano era a verdadeira imagem da realidade. De fato, isso seria deixado para a geração seguinte de astrônomos, que encontraria as evidências para mostrar que Ptolomeu estava errado e Aristarco e Copérnico estavam certos.

## O castelo dos céus

Nascido em meio à nobreza da Dinamarca, em 1546, Tycho Brahe ganharia fama duradoura entre os astrônomos por dois motivos. Primeiro, em 1566, Tycho envolveu-se em uma briga com seu primo Manderup Parsberg, possivelmente porque Parsberg o tinha insultado e zombara dele devido ao fracasso total de uma recente previsão astrológica. Tycho previra a morte de Suleiman, o Grande, e até mesmo envolvera sua profecia num poema em latim, sem saber que o líder otomano já estava morto havia seis meses. A discussão terminou num famoso duelo. Durante a luta de espada, um golpe de Parsberg cortara a testa de Tycho e dividira ao meio o seu nariz. Se o corte fosse uma polegada mais profundo, Tycho teria morrido. A partir de então, ele passou a colar no rosto um falso nariz de metal, feito tão habilmente de uma liga de cobre, prata e ouro que se confundia com o seu tom de pele.

O segundo motivo, o mais importante para a fama de Tycho, foi que ele elevou a astronomia observacional a um nível inteiramente novo de preci-



Figura 11 Uraniborg, na ilha de Hven, o observatório astronômico mais bem financiado e mais hedonista da história.

são. Conquistou tamanha reputação que o rei Frederico II, da Dinamarca, deu a Tycho a ilha de Hven, a dez quilômetros da costa da Dinamarca, e pagou para que ele lá construísse um observatório. Uraniborg (Castelo dos Céus) iria crescer ao longo dos anos até se transformar numa enorme cidade decorada que consumiria mais de 5% do produto nacional bruto dinamarquês, um recorde mundial para todas as épocas no que diz respeito a financiamento de um centro de pesquisas.

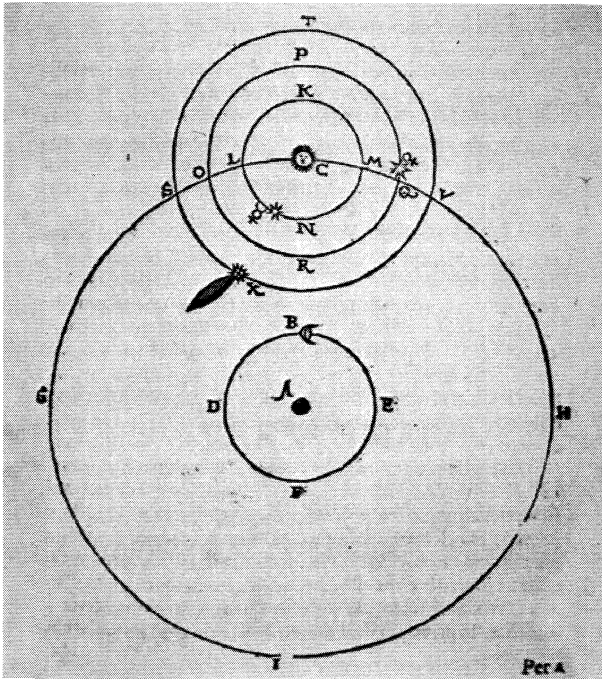
Uraniborg abrigava uma biblioteca, uma fábrica de papel, uma gráfica, um laboratório de alquimia, uma fornalha e uma prisão para servos rebeldes.

As torretas de observação continham enormes instrumentos como sextantes, quadrantes e esferas armilares (todos instrumentos para observação a olho nu, já que os astrônomos ainda não tinham aprendido a explorar o potencial das lentes). Existiam quatro conjuntos de cada um dos instrumentos para medidas simultâneas e independentes, o que minimizava os erros quando se tomavam as posições angulares de estrelas e planetas. As observações de Tycho eram geralmente precisas até 1/30 de grau, cinco vezes melhores que as observações anteriores mais precisas. Talvez a precisão de Tycho fosse ajudada por sua capacidade de remover o nariz para alinhar os olhos com mais perfeição.

A reputação de Tycho era tão grande que um fluxo contínuo de personalidades visitava seu observatório. Além de estarem interessados em suas pesquisas, esses visitantes também eram atraídos pelas festas loucas de Uraniborg, que ficaram famosas em toda a Europa. Tycho fornecia bebida em excesso e entretenimento na forma de estátuas mecânicas e um anão contador de histórias chamado Jepp, que diziam ser um vidente com um dom especial. E, para aumentar o espetáculo, o alce de estimação de Tycho andava livremente pelo castelo, mas morreu tragicamente depois de cair por uma escadaria depois de um excesso de álcool. Uraniborg parecia mais o cenário de um filme do Peter Greenaway do que um instituto de pesquisa.

Embora Tycho tivesse sido educado na tradição da astronomia ptolomaica, suas observações meticulosas o forçaram a rever sua confiança na antiga visão do universo. De fato nós sabemos que ele tinha um exemplar do *De revolutionibus* em seu gabinete e que simpatizava com as idéias de Copérnico,





**Figura 12** O modelo de Tycho comete o mesmo erro de Ptolomeu e coloca a Terra no centro do Universo, sendo orbitada pela Lua e pelo Sol. Seu principal avanço foi perceber que os planetas (e o cometa flamejante) orbitam o sol. Esta ilustração é do livro *De mundi aetherei*, de Tycho.

mas, em lugar de adotá-las, ele preferiu desenvolver seu próprio modelo do universo, que, sem correr riscos, ficava a meio caminho entre Ptolomeu e Copérnico. Em 1588, quase cinquenta anos depois da morte de Copérnico, Tycho publicou *De mundi aetherei recentioribus phoenomenis* (“A respeito dos novos fenômenos no mundo etéreo”), no qual afirmava que todos os planetas orbitavam o Sol, mas o Sol orbitava a Terra, como mostrado na

figura 12. Seu liberalismo ia ao ponto de permitir que o Sol fosse o eixo do sistema de planetas, mas seu conservadorismo o obrigava a reter a Terra no centro do universo. Ele estava relutante em deslocar a Terra porque sua suposta centralidade era o único meio de explicar por que os objetos caem em direção ao centro da Terra.

Antes que Tycho pudesse prosseguir para o estágio seguinte de seu programa de observações astronômicas e teorização, suas pesquisas sofreram um severo golpe. Seu patrono, o rei Frederico, morreu depois de uma bebedeira no mesmo ano em que Tycho publicou *De mundi aetherei* e o novo rei, Cristiano IV, não estava mais disposto a financiar o extravagante observatório de Tycho ou a tolerar seu estilo de vida hedônico. Tycho não teve outra opção senão abandonar Uraniborg e deixar a Dinamarca com sua família, seus assistentes, o anão Jepp e carroças cheias de instrumentos astronômicos. Felizmente, os instrumentos de Tycho tinham sido projetados para serem transportáveis, porque ele percebera astutamente que “um astrônomo deve ser cosmopolita, já que não se pode esperar que os governantes ignorantes valorizem seus serviços”.

Tycho Brahe emigrou para Praga, onde o imperador Rodolfo II o nomeou matemático imperial e permitiu que estabelecesse um novo observatório no Castelo Benatky. A mudança acabou tendo um significado especial, porque foi em Praga que Tycho se associou a um novo assistente, Johannes Kepler, que chegaria à cidade alguns meses depois. O luterano Kepler tinha sido forçado a fugir de seu antigo lar em Graz, quando o arquiduque Ferdinando, um católico fervoroso, ameaçou executá-lo, de acordo com seu discurso de que preferiria “transformar o país num deserto a governar hereges”.

E assim Kepler partiu em sua jornada para Praga no dia 1º de janeiro de 1600. O início do novo século marcaria o começo de uma colaboração que levaria à reinvenção do universo. Juntos, Tycho e Kepler formavam uma dupla perfeita. O avanço científico exige tanto a observação como a teoria. Tycho tinha acumulado a melhor coleção de observações da história da astronomia e Kepler se mostraria um excelente intérprete dessas observações. Embora Kepler sofresse de miopia e de visão múltipla desde o nascimento, ele acabaria por enxergar mais longe do que Tycho.

Foi uma parceria formada bem a tempo. Alguns meses depois da chegada de Kepler, Tycho foi a um jantar oferecido pelo barão de Rosenberg e bebeu com o excesso costumeiro, recusando-se a quebrar a etiqueta e deixar a mesa antes do barão. Kepler escreveu: “Quanto mais ele bebia, mais sentia a tensão em sua bexiga, mas colocou a educação acima da saúde. Quando chegou em casa, mal conseguia urinar”. Naquela noite ele passou a ter febre e alternar entre períodos de inconsciência e delírio. Dez dias depois estava morto.

Em seu leito de morte, Tycho repetiu várias vezes a frase: “Que eu não tenha vivido em vão”. Não havia motivo para temer porque Kepler garantiria que as observações meticulosas de Tycho dessem frutos. De fato é bem possível que a morte de Tycho fosse necessária para seu trabalho florescer porque, enquanto estava vivo, ele guardava cuidadosamente seus livros de anotações e nunca partilhava suas observações, sonhando sempre em publicar uma obra-prima sozinho. Tycho nunca cogitou adotar Kepler como um parceiro igual — afinal, ele era um aristocrata dinamarquês e Kepler um mero camponês. E, no entanto, estava além da capacidade de Tycho enxergar um significado mais profundo em suas próprias observações, o que requeria as habilidades de um matemático treinado como Kepler.

Kepler nascera em uma família pobre que lutara para sobreviver aos transtornos provocados pela guerra, lutas religiosas, um pai criminoso e uma mãe que fora exilada após acusações de bruxaria. Não é surpreendente que passasse a infância e juventude com hipocondria e inseguro, com pouca autoestima. Em seu próprio horóscopo autodepreciativo, escrito na terceira pessoa, ele se descreve como um cachorrinho:

Ele gosta de roer ossos e cascas secas de pão e é tão voraz que tudo em que põe seus olhos ele agarra, e, no entanto, como um cachorro ele bebe pouco e se contenta com a comida mais simples... Continuamente busca os favores de outros, depende dos outros para tudo, faz suas vontades, nunca fica zangado quando eles o repreendem e está sempre ansioso para cair de novo em suas graças... Como um cachorro ele tem horror a banhos, tinturas e loções. Seu descuido não conhece limites, o que se deve certamente à posição de Marte em quadratura com Mercúrio e em tríade com a Lua.

A paixão pela astronomia parece ter sido sua única pausa na autodepreciação. Com a idade de 25 anos, Kepler escreveu o *Mysterium cosmographicum*, o primeiro livro a defender o *De revolutionibus*. A partir daí convenceu-se da veracidade do modelo centrado no Sol e dedicou-se a descobrir o motivo de sua imprecisão. O maior erro estava na previsão da órbita de Marte, um problema que tinha atormentado o assistente de Copérnico, Rético. De acordo com Kepler, Rético ficara tão frustrado com sua incapacidade de resolver o problema de Marte que “apelou, como último recurso, ao seu anjo de guarda, consultando-o como um oráculo. O espírito indelicado agarrou Rético pelos cabelos e alternadamente bateu com sua cabeça no teto e o deixou cair para bater no chão”.

Por fim, tendo acesso às observações de Tycho, Kepler achava que poderia resolver o problema de Marte e remover as imprecisões do modelo centrado no Sol em apenas oito dias. Na verdade, levou oito anos. Vale a pena enfatizar a quantidade de tempo que Kepler passou aperfeiçoando o modelo centrado no Sol: oito anos! Porque o resumo a seguir pode facilmente subestimar sua imensa realização. A solução de Kepler foi o resultado de cálculos árduos e tortuosos que ocuparam novecentas páginas.

Kepler fez sua grande descoberta ao abandonar um dos antigos dogmas, o de que os planetas se moviam em trajetórias que eram círculos ou combinações de círculos. Até mesmo Copérnico tinha se agarrado lealmente a esse dogma circular, e Kepler mostrou que esta era uma das suposições erradas de Copérnico. De fato Kepler afirmou que seu predecessor tinha falhado ao presumir três coisas:

1. Os planetas se movem em círculos perfeitos
2. Os planetas se movem com velocidades constantes
3. O Sol encontra-se no centro dessas órbitas

Embora Copérnico estivesse certo ao declarar que os planetas orbitam o Sol e não a Terra, sua crença nos três pressupostos falsos sabotou suas esperanças de prever os movimentos de Marte e dos outros planetas com um alto grau de precisão. Contudo Kepler teria sucesso onde Copérnico falhara porque ele descartou esses pressupostos, por acreditar que a verdade só pode

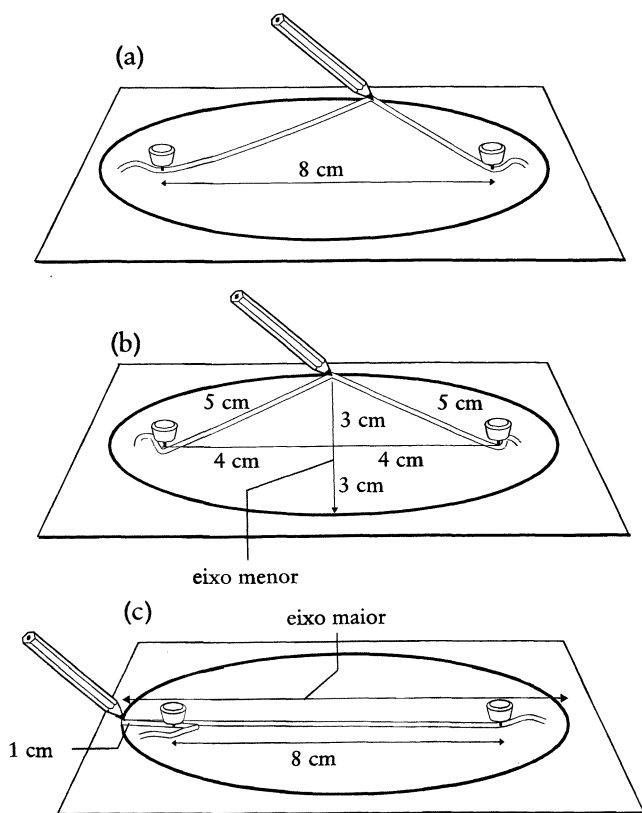
vir à tona quando toda a ideologia, os preconceitos e os dogmas são deixados de lado. Ele abriu os olhos e a mente, usou as observações de Tycho como ponto de apoio e elaborou seu modelo a partir dos dados de Tycho. Gradualmente, um modelo imparcial de Universo começou a surgir. E com certeza as novas equações de Kepler correspondiam às observações e o Sistema Solar tomou forma, afinal. Kepler expôs os erros de Copérnico e mostrou que

1. Os planetas se movem em elipses, não em círculos perfeitos.
2. A velocidade dos planetas varia constantemente.
3. O sol não é exatamente o centro dessas órbitas.

Quando percebeu que tinha a solução para o mistério das órbitas planetárias, Kepler gritou: “Oh Deus, Todo-poderoso, estou pensando Teus pensamentos”.

De fato a segunda e a terceira afirmações do novo modelo de Kepler surgem da primeira, que diz que as órbitas planetárias são elípticas. Um guia rápido sobre as elipses e o modo como são construídas mostra por que isso acontece. Um modo de se desenhar uma elipse é prender um pedaço de barbante sobre uma tábua, como é mostrado na figura 13, e então usar um lápis para esticar o barbante. Se o lápis for movido pela tábua, mantendo o barbante esticado, ele vai traçar a metade de uma elipse. Coloque o lápis do outro lado do barbante e estique-o novamente, e a outra metade da elipse será traçada. O comprimento do barbante é constante e os pregos estão fixos, assim, uma definição possível para elipse é um conjunto de pontos cuja distância combinada aos dois pregos tem um valor específico.

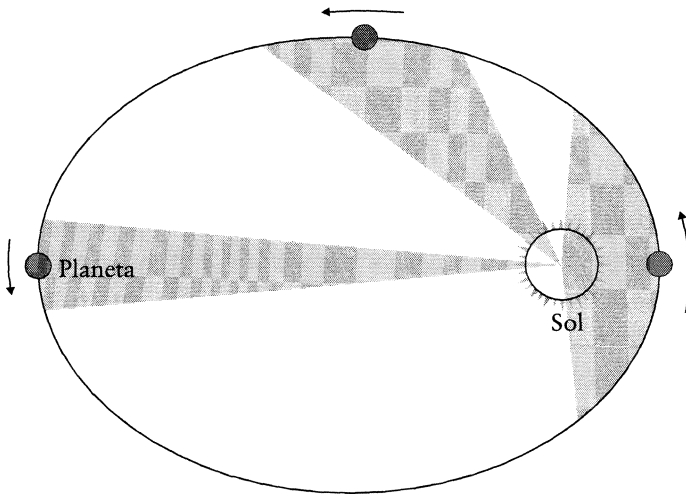
As posições ocupadas pelos pregos são chamadas de focos da elipse. As trajetórias elípticas seguidas pelos planetas são de tal forma que o Sol fica num dos focos e não no centro das órbitas planetárias. Portanto, haverá ocasiões em que um planeta estará mais perto do Sol do que em outras, como se o planeta tivesse caído em direção ao Sol. Esse processo de queda fará o planeta aumentar a velocidade e, de modo oposto, o planeta perderá velocidade ao se afastar do Sol.



**Figura 13** Uma maneira simples de desenhar uma elipse é usar um pedaço de barbante preso a dois pinos, como mostrado no diagrama (a). Se os pinos estiverem separados por 8 cm e o barbante tiver 10 cm de comprimento, cada ponto da elipse terá uma distância somada de 10 cm em relação aos dois pinos. Por exemplo, no diagrama (b), o barbante de 10 cm forma dois lados de um triângulo, ambos com 5 cm de comprimento. De acordo com o teorema de Pitágoras, a distância do centro da elipse até o topo deve ser de 3 cm. Isso significa que a altura total (ou *eixo menor*) da elipse é de 6 cm. No diagrama (c), o barbante de 10 cm é puxado para um lado, o que indica que a largura total (ou *eixo maior*) da elipse é 10 cm, porque são 8 cm de pino a pino mais 1 cm em ambas as extremidades.

A elipse é bem achatada porque o eixo menor mede 6 cm comparado com o eixo maior de 10 cm. Se os dois pinos se aproximarem, os eixos maior e menor da elipse tornam-se mais parecidos e a elipse fica menos achatada. Se os pinos se encontrarem num único ponto, então o barbante formará um raio constante de 5 cm e a forma resultante será um círculo.

Kepler mostrou que, à medida que um planeta segue a sua trajetória elíptica em torno do Sol, acelerando e desacelerando ao longo do caminho, uma linha imaginária, ligando o planeta ao Sol, vai varrer áreas iguais em tempos iguais. Essa declaração um tanto abstrata é ilustrada na figura 14 e é importante, porque define precisamente como a velocidade do planeta muda ao longo de sua órbita, contrariando a crença de Copérnico em velocidades planetárias constantes.



**Figura 14** O diagrama mostra uma órbita planetária bastante exagerada. A altura da elipse vale, aproximadamente, 75% de sua largura, enquanto que na maioria das órbitas planetárias do Sistema Solar esta proporção fica, em geral, entre 99% e 100%. De modo semelhante, o foco ocupado pelo Sol fica bem fora do centro, enquanto ele é apenas levemente descentralizado para as órbitas planetárias reais. O diagrama demonstra a segunda lei do movimento planetário de Kepler. Ele explicou que uma linha imaginária unindo o planeta ao Sol (o raio vetor) varre áreas iguais em tempos iguais, o que é uma consequência do aumento da velocidade do planeta à medida que se aproxima do Sol. Os três setores sombreados têm áreas iguais. Quando o planeta está mais perto do Sol, o raio vetor é curto, mas compensado por uma velocidade maior, o que significa que cobre mais da circunferência da elipse em tempo fixo. Quando o planeta está mais distante do Sol, o raio vetor é muito mais comprido, mas tem uma velocidade menor, e assim cobre uma seção menor da circunferência no mesmo tempo.

A geometria da elipse vinha sendo estudada desde o tempo dos antigos gregos, então por que ninguém antes sugeriu elipses como a forma das órbitas planetárias? Um motivo, como já vimos, foi a crença persistente na perfeição sagrada dos círculos, que parecia cegar os astrônomos para todas as outras possibilidades. Mas outro motivo é que a maioria das elipses planetárias são apenas levemente elípticas, de modo que parecem circulares, a menos que se faça um exame minucioso. Por exemplo, o comprimento do eixo menor dividido pelo comprimento do eixo maior (ver figura 13) é uma boa indicação de como uma elipse está próxima de um círculo. A proporção é igual a 1,0 para um círculo, e, no caso da Terra, essa proporção é de 0,99986. Marte, o planeta que fez Rético ter pesadelos, é problemático porque sua órbita é mais achatada, mas a proporção entre os dois eixos ainda é muito próxima de 1, valendo 0,99566. Em resumo, a órbita marciana era apenas levemente elíptica, de modo a levar os astrônomos a acreditarem que era circular, mas era elíptica o suficiente para criar problemas reais a qualquer um que tentasse moldá-la em termos de círculos.

As elipses de Kepler forneceram uma visão completa e precisa do nosso Sistema Solar. Suas conclusões foram um triunfo para a ciência e para o método científico, o resultado da combinação de observação, teoria e matemática. Ele publicou sua conquista, pela primeira vez, em 1609, num enorme tratado intitulado *Astronomia nova*, que detalhava oito anos de trabalho meticuloso, incluindo numerosas linhas de investigação que levaram apenas a becos sem saída. Kepler pedia ao leitor para sentir-se em seu lugar: “se ficares entediado com este cansativo método de cálculo, tenha pena de mim que tive que repeti-lo pelo menos setenta vezes, perdendo muito tempo”.

O modelo de Kepler para o Sistema Solar era simples, elegante e indubitavelmente preciso em termos de prever as trajetórias dos planetas, e no entanto poucos acreditaram que representasse a realidade. A grande maioria dos filósofos, astrônomos e líderes da Igreja aceitou que aquele era um bom modelo para fazer cálculos, mas continuou firme na crença de que a Terra era o centro do Universo. Sua preferência pelo modelo centrado na Terra era baseada, em grande parte, no fracasso de Kepler em abordar algumas das questões da tabela 2 (pp. 41-42), tais como a gravidade. Como pode



a Terra e os outros planetas serem mantidos em órbita em torno do Sol quando tudo o que vemos ao nosso redor é atraído para a Terra?

Também a confiança de Kepler em elipses, contrária à doutrina dos círculos, era considerada risível. O clérigo e astrônomo holandês David Fabricius disse o seguinte em uma carta para Kepler: “Com tuas elipses, aboliste a circularidade e a uniformidade dos movimentos, o que me parece cada vez mais absurdo quanto mais profundamente eu penso a respeito... se pudesses ao menos preservar a órbita circular perfeita e justificar tua órbita elíptica com outro pequeno epiciclo, seria muito melhor”. Mas uma elipse não pode ser construída de círculos e epiciclos, assim, uma conciliação era impossível.

Desapontado com a pobre recepção dada a *Astronomia nova*, Kepler partiu para aplicar suas habilidades em outra coisa. Ele era eternamente curioso em relação ao mundo ao seu redor, e justificou sua contínua exploração científica quando escreveu: “Nós não perguntamos para que propósito os pássaros cantam, pois a canção é o seu prazer, já que foram criados para cantar. E do mesmo modo nós não devemos nos perguntar porque a mente humana se dá ao trabalho de sondar os segredos do céu... A diversidade de fenômenos da natureza é tão grande e os tesouros ocultos nos céus tão ricos precisamente para que a mente humana nunca careça de seu alimento”.

Além da pesquisa nas órbitas planetárias elípticas, Kepler se dedicou a trabalhos de diversas naturezas. Erradamente ele reviveu a teoria pitagórica de que os planetas ressoavam com “a música das esferas”. De acordo com Kepler, a velocidade de cada planeta gerava notas particulares (por exemplo, dó, ré, mi, fá, sol, lá, si). A Terra emitia as notas fá e mi, que produziam a palavra latina *fames*, significando “fome”, aparentemente indicando a verdadeira natureza do nosso planeta. Um uso melhor para o seu tempo foi a autoria de *Somnium*, um dos precursores do gênero ficção científica, contando a viagem até a Lua de um grupo de aventureiros. E um par de anos depois da *Astronomia nova*, Kepler escreveu um de seus trabalhos científicos mais originais, “Sobre o floco de neve de seis vértices”, no qual ele meditava sobre a simetria dos flocos de neve e apresentava uma visão atomística da matéria.

“Sobre o floco de neve de seis vértices” foi dedicado ao patrono de Kepler, Johannes Matthaeus Wackher von Wackenfels, que também deu a Kepler a

notícia mais empolgante que ele jamais receberia: um relato de um avanço tecnológico que transformaria a astronomia de um modo geral e a reputação do modelo centrado no Sol em particular. A notícia era tão espantosa que Kepler fez uma anotação especial a respeito da visita de Herr Wackher em março de 1610: “Eu experimentei uma emoção maravilhosa enquanto ouvia esta história curiosa. Fiquei emocionado no mais profundo de meu ser”.

Kepler tinha acabado de ouvir a primeira notícia a respeito do telescópio, que estava sendo usado por Galileu para explorar o céu e revelar detalhes completamente novos do céu noturno. Graças a essa nova invenção, Galileu descobriria evidências provando que Aristarco, Copérnico e Kepler estavam corretos.

## **Ver para crer**

Nascido em Pisa, em 15 de fevereiro de 1564, Galileu Galilei tem sido chamado de pai da ciência e, de fato, seu direito a esse título é baseado num impressionante registro de realizações. Ele pode não ter sido o primeiro a desenvolver uma teoria científica, ou o primeiro a realizar uma experiência, ou a observar a natureza, nem o primeiro a provar o poder da invenção. Mas provavelmente foi o primeiro a se destacar em cada um desses assuntos, sendo um teórico brilhante, um mestre da experimentação, um observador meticuloso e um hábil inventor.

Galileu demonstrou suas múltiplas habilidades durante seus anos como estudante, quando sua mente vagueou durante uma cerimônia na catedral e ele notou um candelabro balançando. Usando seu pulso para medir o tempo de cada oscilação, ele observou que o período para um ciclo de ida e volta permanecia constante, ainda que o arco amplo no início do ritual tivesse se reduzido para uma leve oscilação no final. De volta para casa, ele passou do modo observacional para o experimental e brincou com pêndulos de diferentes comprimentos e pesos. Depois usou seus dados experimentais para desenvolver uma teoria que explicava como o período da oscilação é independente de seu ângulo e do peso, e depende apenas do comprimento do pêndulo. Depois da pesquisa pura, Galileu passou para a invenção e colabo-

rou no desenvolvimento do *pulsilógio*, um pêndulo simples cuja oscilação regular permitia seu uso como medidor de tempo.

Em especial, o aparelho podia ser usado para medir a pulsação de um paciente, revertendo os papéis em relação a suas observações originais, quando ele usou seu pulso para medir o período de uma lâmpada balançando. Galileu estava estudando para ser médico, mas essa foi sua única contribuição para a medicina. Posteriormente ele convenceu o pai a permitir que abandonasse a medicina, seguindo carreira na ciência.

Além de seu intelecto indubitável, o sucesso de Galileu como cientista seria o resultado de sua tremenda curiosidade a respeito do mundo e de tudo o que havia nele. Ele estava bem ciente de sua natureza inquiridora e uma vez exclamou: “Será que nunca vou parar de me admirar?”

Tal curiosidade estava associada a um temperamento rebelde. Galileu não tinha respeito pela autoridade no sentido de aceitar que uma coisa fosse verdadeira só porque professores, teólogos ou os antigos gregos tivessem declarado que era. Por exemplo, Aristóteles tinha usado a filosofia para deduzir que objetos pesados cairiam mais depressa que objetos leves. Mas Galileu fez uma experiência para demonstrar que Aristóteles estava errado. Ele teve a coragem de dizer que Aristóteles, então o mais elogiado intelecto da história, “escrevera o oposto da verdade”.

Quando Kepler ouviu pela primeira vez a notícia do uso do telescópio por Galileu para explorar o céu, ele provavelmente presumiu que Galileu o tivesse inventado. Muitas pessoas fazem a mesma suposição ainda hoje. De fato foi Hans Lippershey, um fabricante de óculos flamengo, quem patenteou o telescópio em outubro de 1608. Alguns meses depois da invenção de Lippershey, Galileu anotou que “um boato chegou a nossos ouvidos sobre uma luneta construída por um certo holandês”, e imediatamente passou a construir seus próprios telescópios.

A grande realização de Galileu foi transformar o projeto rudimentar de Lippershey num instrumento verdadeiramente extraordinário. Em agosto de 1609, Galileu presenteou o doge de Veneza com o que era então o telescópio mais poderoso do mundo. Juntos eles subiram a torre do sino de São Marcos, instalaram a luneta e observaram a lagoa. Uma semana depois, em uma carta para o cunhado, Galileu informou que o telescópio tinha funcio-

nado, “para o assombro infinito de todos”. Instrumentos rivais tinham um aumento de cerca de dez vezes, mas Galileu tinha uma compreensão melhor da óptica do aparelho e foi capaz de conseguir ampliações de sessenta vezes. Não somente o telescópio deu aos venezianos uma vantagem na guerra, porque eles podiam ver o inimigo antes que o inimigo os visse, mas também permitia que os mercadores astutos detectassem um navio distante chegando com uma nova carga de tecidos ou especiarias. E com isso eles podiam vender seus estoques antes que os preços de mercado despencassem.

Galileu lucrou com sua comercialização do telescópio, mas percebeu que a invenção também tinha um valor científico. Quando apontou sua luneta para o céu noturno, esta permitiu que ele visse mais longe, mais claramente e mais profundamente no espaço do que qualquer um tinha visto antes. Quando Herr Wacker contou a Kepler sobre o telescópio de Galileu, o astrônomo imediatamente reconheceu seu potencial e escreveu: “Oh, telescópio, instrumento de grande conhecimento, mais precioso do que qualquer cetro! Pois não é ele que colocado em tua mão faz de ti rei e senhor dos trabalhos de Deus?”. E Galileu se tornaria este rei e senhor.

Primeiro Galileu estudou a Lua e mostrou que ela era “cheia de vastas protuberâncias, profundos abismos e sinuosidades”, o que estava em contradição direta com a visão ptolomaica de que os corpos celestes eram esferas perfeitas. A imperfeição dos céus foi reforçada quando Galileu apontou seu telescópio para o Sol e viu manchas e máculas chamadas de manchas solares e que hoje sabemos serem regiões mais frias da superfície solar, com até 100 mil quilômetros de largura.

Então, no mês de janeiro de 1610, Galileu fez uma observação ainda mais importante quando detectou o que inicialmente julgou serem quatro estrelas vagueando nas vizinhanças de Júpiter. Logo ficou evidente que aqueles objetos não eram estrelas, porque se moviam em torno de Júpiter, o que significava que eram luas jovianas. Nunca antes alguém tinha visto uma lua que não fosse a nossa própria. Ptolomeu tinha afirmado que a Terra era o centro do universo, mas ali estava um sinal incontestável de que nem tudo orbitava a Terra.

Galileu, que mantinha correspondência com Kepler, estava bem ciente da última versão kepleriana do modelo copernicano, e percebeu que a descoberta das luas de Júpiter fornecia mais apoio ao modelo de universo

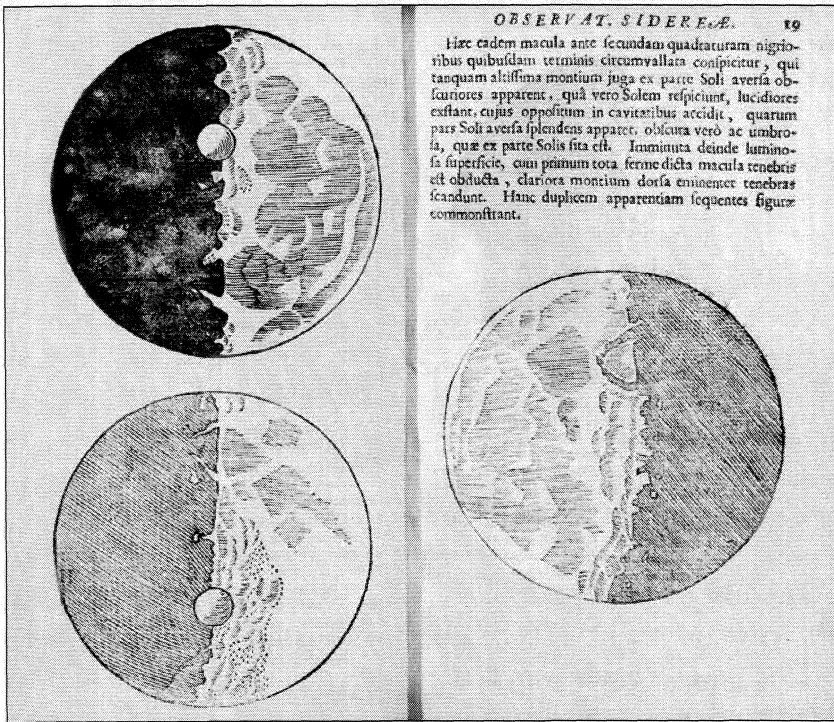


Figura 15 Os desenhos de Galileu para a Lua.

centrado no Sol. Ele não tinha dúvidas de que Copérnico e Kepler estavam certos, e no entanto continuou a buscar mais evidências a favor desse modelo, na esperança de convencer as autoridades que ainda se agarravam a uma visão tradicional do universo centrado na Terra. O único meio de romper o impasse seria comprovar uma previsão bem definida que fizesse a diferença entre os dois modelos. Se tal previsão pudesse ser testada, ela confirmaria um modelo e refutaria outro. A boa ciência desenvolve teorias que podem ser testadas, e é através dos testes que a ciência progride.

E de fato Copérnico tinha feito tal previsão, a qual esperava para ser testada tão logo surgissem ferramentas adequadas para fazer as observações. No *De revolutionibus*, ele tinha declarado que Mercúrio e Vênus deveriam exibir uma série de fases (exemplo Vênus crescente, Vênus cheia, meia Vênus)

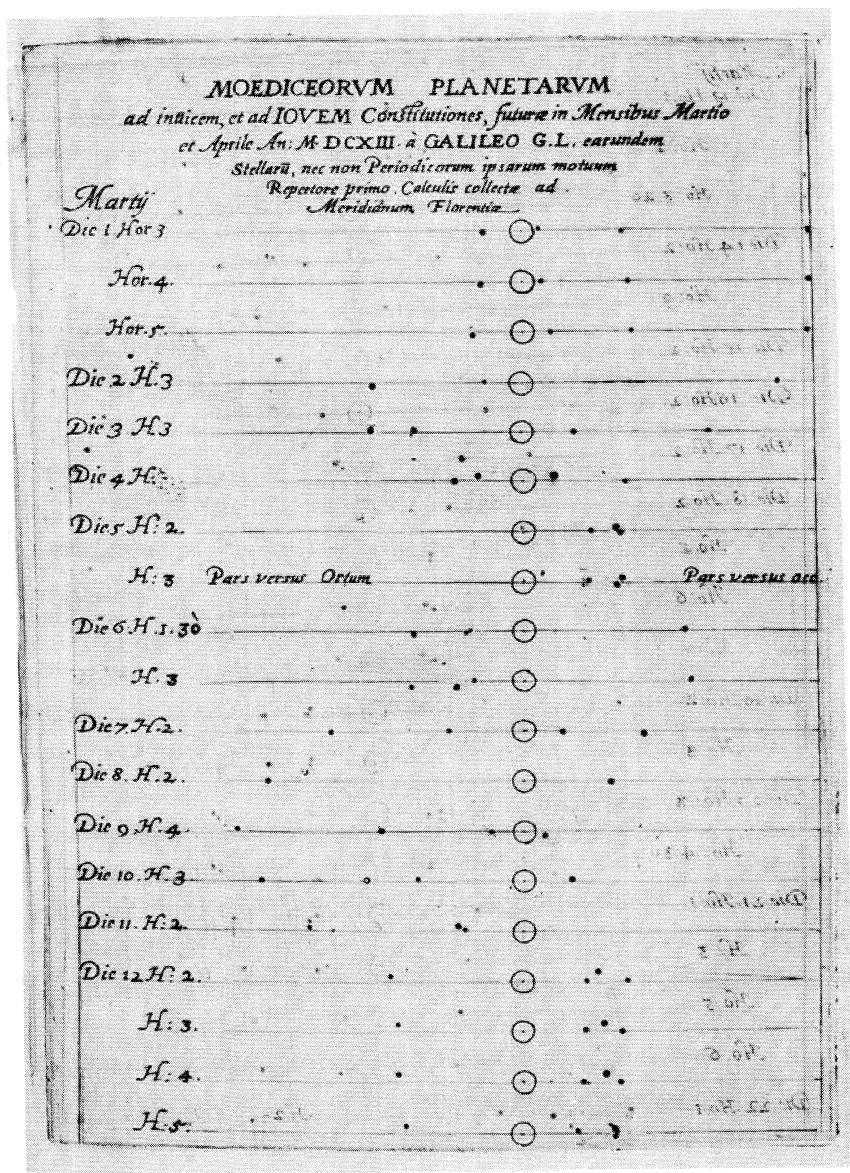


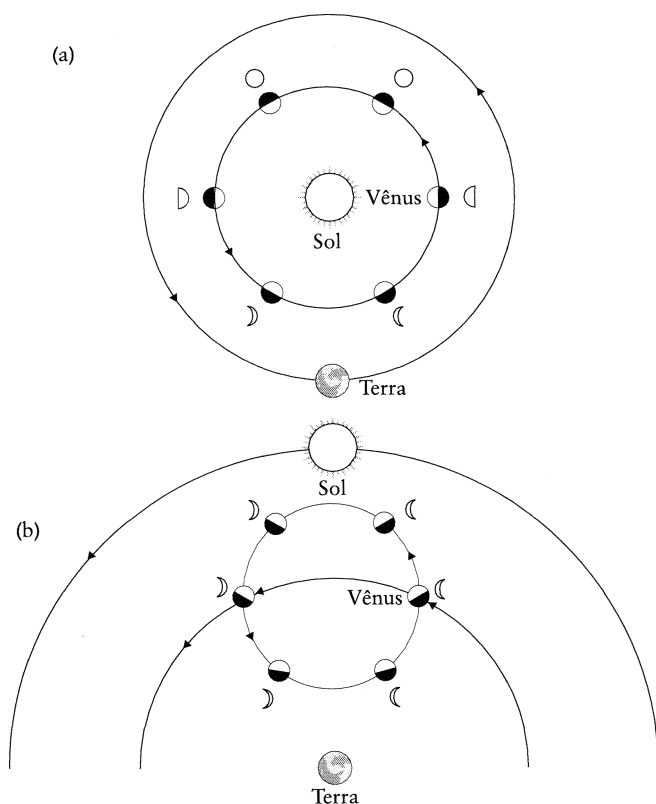
Figura 16 Os esboços de Galileu das mudanças de posição das luas de Júpiter. Os círculos representam Júpiter, e os vários pontos em ambos os lados mostram as posições variáveis das luas. Cada fileira representa uma observação feita em uma data e hora específicas, com uma ou mais observações por noite.

semelhante às fases da Lua e o exato padrão das fases dependeria de a Terra orbitasse o Sol ou vice-versa. No século XV, ninguém poderia checar o padrão das fases porque o telescópio ainda tinha que ser inventado, mas Copérnico estava confiante de que era apenas uma questão de tempo até que suas previsões fossem comprovadas. “Se o sentido da visão pudesse se tornar poderoso o bastante, poderíamos ver as fases em Mercúrio e Vênus.”

Deixando Mercúrio de lado e se concentrando em Vênus, o significado das fases torna-se aparente na figura 17. Vênus tem sempre um lado iluminado pelo Sol, mas do nosso ponto de observação, na Terra, essa face nem sempre está apontada para nós, e assim vemos Vênus passar por uma série de fases. No modelo centrado na Terra, de Ptolomeu, a sequência de fases é determinada pela trajetória de Vênus em torno da Terra e obedece rigorosamente ao seu epíciclo. Contudo, no modelo centrado no Sol, a sequência de fases é diferente por ser determinada pela trajetória de Vênus em torno do Sol, sem nenhum epíciclo. Se alguém pudesse identificar a verdadeira sequência de Vênus crescente e minguante, isso então provaria, além de qualquer dúvida razoável, qual modelo estava certo.

No outono de 1610, Galileu tornou-se a primeira pessoa a testemunhar e cartografar as fases de Vênus. Como esperava, suas observações se encaixavam perfeitamente nas previsões do modelo centrado no Sol, e forneciam munição extra para a defesa da revolução copernicana. Ele relatou sua descoberta em uma anotação criptográfica em latim que se compreendia como *Haec immatura a me iam frustra leguntur oy* (“Estas atualmente são muito jovens para serem lidas por mim”). Mais tarde ele revelou que a frase era um anagrama codificado que, se decifrado, seria compreendido como *Cynthiae figuras aemulatur Mater Amorum* (As imagens de Cíntia são imitadas pela Mãe do Amor). Cíntia era uma referência à Lua, cujas fases já eram familiares, e a Mãe do Amor era uma alusão a Vênus, cujas fases Galileu tinha descoberto.

A defesa do universo centrado no Sol tornava-se mais forte a cada nova descoberta. A tabela 2 (pp41-42) compara os modelos centrados no Sol e na Terra com base em observações pré-copernicanas, mostrando por que o modelo centrado na Terra fazia mais sentido na Idade Média. A tabela 3, na página seguinte, mostra como as observações de Galileu tornaram o modelo



**Figura 17** As precisas observações das fases de Vênus por Galileu provaram que Copérnico estava certo e Ptolomeu, errado. No modelo do universo centrado no Sol, mostrado no diagrama (a), a Terra e Vênus orbitam o Sol. Embora Vênus esteja sempre parcialmente iluminado pelo Sol, do ponto de vista da Terra o planeta parece passar por um ciclo de fases, transformando-se de um crescente num disco. As fases são mostradas ao lado de cada posição de Vênus.

No modelo de universo centrado na Terra, Vênus e o Sol orbitam a Terra e além disso Vênus se move em seu próprio epiciclo. As fases dependem do lugar onde Vênus se encontra em sua órbita e no seu epiciclo. No diagrama (b), a órbita de Vênus é tal que o planeta fica aproximadamente entre a Terra e o Sol, o que dá origem às fases mostradas. Ao identificar a série real de fases, Galileu pôde verificar qual modelo estava correto.



centrado no Sol mais favorável. As fraquezas remanescentes do modelo centrado no Sol seriam removidas mais tarde, quando os cientistas entenderam melhor a gravidade e conseguiram perceber por que não sentimos o movimento da Terra em torno do Sol. E, embora o modelo centrado no Sol não estivesse de acordo com o bom senso, um dos critérios na tabela, essa não era realmente uma deficiência, porque o bom senso pouco tem a ver com a ciência, como demonstramos anteriormente.

**Tabela 3**

Esta tabela enumera dez critérios importantes em relação aos modelos centrados na Terra e no Sol, com base no que se conhecia em 1610, depois das observações de Galileu. As cruzes e os vês dão uma indicação do desempenho de cada modelo em relação aos critérios e um ponto de interrogação indica a ausência de dados. Comparado com a avaliação baseada na evidência disponível antes de Copérnico (tabela 2, pp. 41-42), o modelo centrado no Sol agora parece mais convincente. Isto é parcialmente devido às novas observações (pontos 8, 9 e 10) que só foram possíveis com o advento do telescópio.

<b>Critério</b>	<b>Modelo centrado na Terra</b>	<b>Sucesso</b>
1. Bom senso	Parece óbvio que tudo gira em torno de Terra	✓
2. Consciência de movimento	Não detectamos nenhum movimento, portanto a Terra não pode estar se movendo	✓
3. Cair no solo	A centralidade da Terra explica por que todos os objetos parecem cair no solo, eles estão sendo atraídos para o centro do universo	✓
4. Paralaxe estelar	Não há detecção de paralaxe estelar cuja ausência seja compatível com uma Terra estática e um observador estacionário	✓
5. Previsão de órbitas planetárias	Coincidem muito bem	✓

6. Movimento retrógrado dos planetas	Explicado com epiciclos e deferentes.	√
7. Simplicidade	Muito complicado, epiciclos deferentes, equantes e excêntricos para cada planeta.	√
8. Fases de Vênus	Não consegue prever as fases observadas.	X
9. Manchas no Sol e na Lua	Problemático — este modelo surge de uma visão aristotélica, que também afirma que os céus são perfeitos.	X
10. Luas de Júpiter	Problemático — supõe-se que tudo orbite a Terra!	X

Critério	Modelo centrado no Sol	Sucesso
1. Bom senso	Ainda exige um salto de imaginação e lógica para ver que a Terra pode girar ao redor do Sol.	X
2. Consciência do movimento	Galileu estava no caminho para explicar por que não sentimos o movimento da Terra em torno do Sol.	?
3. Cair no solo	Não existe explicação óbvia num modelo em que a Terra não está localizada no centro; somente mais tarde Newton explicaria a gravidade nesse contexto.	X
4. Paralaxe estelar	A Terra se move, assim a aparente ausência de paralaxe deve ser devida às imensas distâncias estelares; a paralaxe seria detectada com melhores telescópios.	?

5. Previsão de órbitas planetárias	Entendimento perfeito depois da contribuição de Kepler.	✓
6. Movimentos retró-grados dos planetas	Conseqüência natural do movimento da Terra e da mudança de nosso ponto de observação.	✓
7. Simplicidade	Muito simples — tudo segue elipses	✓
8. Fases de Vênus	Prevê com sucesso as fases observadas.	✓
9. Manchas no Sol e na Lua	Nenhum problema — este modelo não faz comentários sobre a perfeição ou imperfeição dos corpos celestes.	✓
10. Luas de Júpiter	Nenhum problema — este modelo tolera múltiplos centros.	✓

Nesse ponto da história, todos os astrônomos deveriam ter passado a adotar o modelo centrado no Sol, mas não houve nenhuma grande mudança. A maioria dos astrônomos passara a vida inteira convencida de que o universo girava em torno de uma Terra estática e não conseguia realizar o salto intelectual ou emocional para um universo centrado no Sol. Quando o astrônomo Francesco Sizi ouviu falar nas observações das luas de Júpiter por Galileu, que pareciam sugerir que a Terra não era o eixo de tudo, apresentou um contra-argumento muito estranho: “As luas eram invisíveis a olho nu e portanto não poderiam ter influência sobre a Terra e portanto seriam inúteis e não existiriam”. O filósofo Giulio Libri assumiu uma postura igualmente ilógica e chegou até a recusar-se a olhar pelo telescópio por uma questão de princípios. Quando Libri morreu, Galileu sugeriu que ele afinal poderia ver as manchas solares, as luas de Júpiter e as fases de Vênus em sua jornada para o céu.

A Igreja Católica, do mesmo modo, não queria abandonar sua doutrina de que a Terra estava fixa no centro do Universo, nem mesmo quando matemáticos jesuítas confirmaram a precisão superior do modelo centrado no Sol. Daí em diante os teólogos admitiram que o modelo centrado no Sol era capaz de fazer

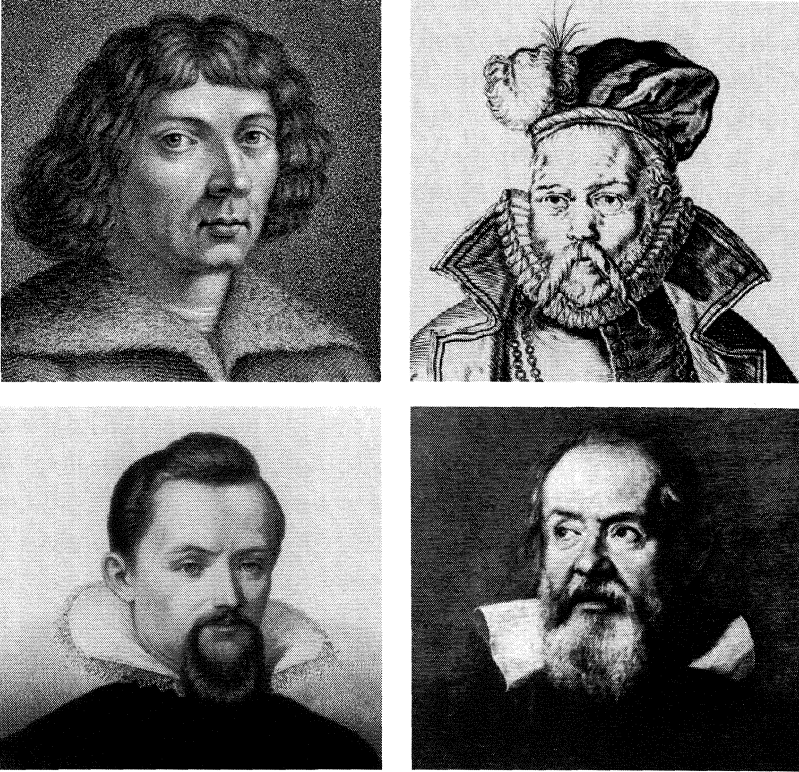
previsões excelentes para as órbitas planetárias, mas ainda se recusavam a aceitar que fosse uma representação válida da realidade. Em outras palavras, o Vaticano via o modelo centrado no Sol do mesmo modo como os estudantes da língua inglesa usam a frase: *How I need a drink, alcoholic of course, after de heavy lectures involving quantum mechanics* (“Ah, como eu preciso de uma bebida, alcoólica é claro, depois das aulas maçantes sobre mecânica quântica”). Esta frase, em inglês, é uma senha mnemônica para o número  $\pi$ . Somando o número de letras em cada palavra, teremos o valor 3,14159265358979, que é o verdadeiro valor de  $\pi$  até 14 casas decimais. A frase é um artifício altamente preciso para representar o valor de  $\pi$ , mas ao mesmo tempo sabemos que  $\pi$  não tem nada a ver com álcool. A Igreja mantinha a postura de que o modelo de universo centrado no Sol tinha um valor semelhante — preciso e útil, mas irreal.

Entretanto, os copernicanos continuaram a argumentar que o modelo centrado no Sol era bom para prever a realidade pelo simples motivo de que o Sol na verdade era o centro do universo. Não surpreende que isso tenha provocado uma dura reação da Igreja. Em fevereiro de 1616, um comitê de conselheiros da Inquisição declarou formalmente que adotar o modelo de universo com o Sol no centro era heresia. E, como resultado desse decreto, o *De revolutionibus* de Copérnico foi banido em março de 1616, 63 anos depois de publicado.

Galileu não se conformou com a condenação da Igreja às suas idéias científicas. Embora fosse um católico devoto, também era um racionalista apaixonado, e havia conseguido conciliar esses dois sistemas de crenças. Chegara à conclusão de que os cientistas estavam mais bem qualificados para comentar o mundo material, enquanto os teólogos estavam mais preparados para falar do mundo espiritual e sobre como se deve viver no mundo material. Galileu afirmava: “A Escritura Sagrada destina-se a ensinar aos homens como ir para o Céu e não como o céu funciona”.

Se a Igreja criticasse o modelo centrado no Sol pela identificação da debilidade do argumento, ou alegando pobreza de dados, Galileu e seus colegas estariam dispostos a ouvir, mas as críticas eram puramente ideológicas. Galileu preferiu ignorar os pontos de vista dos cardeais e ano após ano continuou a insistir numa nova visão do universo. Finalmente, em 1623 ele viu uma oportunidade de derrubar a ordem estabelecida quando seu amigo, o cardeal Maffeo Barberini, foi eleito para o trono papal como Urbano VIII.

Galileu e o novo papa se conheciam desde que freqüentaram a mesma



**Figura 18** Copérnico (à esquerda, no alto), Tycho (à direita, no alto), Kepler (à esquerda, embaixo) e Galileu foram responsáveis por impulsionar a mudança de modelo centrado na Terra para um modelo de universo centrado no Sol. Juntas, suas realizações ilustram um aspecto-chave do progresso científico, ou seja, como as teorias e os modelos se desenvolvem e são aperfeiçoados ao longo do tempo, por vários cientistas, cada um construindo a partir do trabalho do outro.

Copérnico estava preparado para dar o salto teórico que relegou a Terra a um mero satélite e promoveu o Sol ao papel central. Tycho Brahe, apesar do seu nariz de latão, forneceria a evidência observacional que, mais tarde, ajudaria Johannes Kepler a identificar a maior falha no modelo de Copérnico, ou seja, que as órbitas planetárias são levemente elípticas e não perfeitamente circulares. E por fim Galileu usou o telescópio para descobrir a evidência fundamental que convenceria os incrédulos. Ele mostrou que a Terra não era o centro de tudo porque Júpiter tinha seus próprios satélites. Também mostrou que as fases de Vênus só eram compatíveis com um modelo de universo centrado no Sol.

universidade em Pisa. Logo após sua nomeação, Urbano VIII concedeu a Galileu seis longas audiências. Numa delas, Galileu mencionou sua idéia de escrever um livro que comparasse as duas visões do universo, e, quando deixou o Vaticano, saiu com a firme impressão de que recebera as bênçãos do papa. Retornou a seu gabinete e começou o que seria um dos livros mais controvertidos já publicados na história da ciência.

Em seu *Diálogo sobre os dois máximos sistemas do mundo*, Galileu usou três personagens para explorar os méritos das visões de mundo centradas no Sol e na Terra. Salviati apresentava a visão preferida de Galileu do Sol no centro, e era claramente um homem inteligente, culto e eloqüente. Simplício, o bufão, tentava defender a visão centrada na Terra. E Sagredo agia como um mediador, guiando a conversa entre os dois personagens, embora seu ponto de vista às vezes transparecesse, quando ele zombava e criticava Simplício ao longo do texto. Tratava-se de um texto acadêmico, mas o artifício de usar personagens para explicar os argumentos e contra-argumentos o tornaram acessível a um público mais amplo. Também ajudava o fato de o livro ser escrito em italiano e não em latim; assim, o objetivo de Galileu era claramente conquistar amplo apoio popular para o universo centrado no Sol.

O *Diálogo* foi por fim publicado em 1632, quase uma década depois de Galileu ter conseguido, ao que tudo indica, a aprovação do papa. O enorme atraso entre a concepção e a publicação acabou tendo graves conseqüências, porque a Guerra dos Trinta Anos tinha mudado o panorama político e religioso e o papa Urbano VIII agora estava disposto a esmagar Galileu e seus argumentos. A Guerra dos Trinta Anos tivera início em 1618, quando um grupo de protestantes invadiu o palácio real, em Praga, e atirou pelas janelas superiores dois altos funcionários, num evento conhecido como “a defenestração de Praga”. O povo local estava enfurecido com a contínua perseguição do rei católico aos protestantes e, ao realizar esta ação, eles provocaram um violento levante das comunidades protestantes da Hungria, Transilvânia, Boêmia e outras partes da Europa.

Na ocasião em que o *Diálogo* foi publicado, a guerra assolava havia 14 anos, e a Igreja Católica sentia-se cada vez mais alarmada com a crescente ameaça dos protestantes. O papa tinha que ser um forte defensor da fé católica, e ele decidiu que parte de sua nova estratégia populista seria dar meia-volta e condenar os escritos blasfemos de qualquer cientista herege que se atrevesse a questionar a visão tradicional do universo centrado na Terra.

Uma explicação mais pessoal para a drástica mudança do papa é que astrônomos invejosos da fama de Galileu se uniram aos cardeais mais conservadores e fomentaram o problema. Eles teriam destacado paralelos entre alguns dos pronunciamentos mais ingênuos do papa, sobre astronomia, e as declarações do bufão Simplício nos diálogos. Urbano tinha afirmado, exatamente como Simplício, que um Deus onipotente havia criado o universo sem levar em conta as leis da física. E assim o papa teria sido humilhado pela resposta sarcástica de Salviati a Simplício nos *Diálogos*: “Certamente Deus poderia ter feito os pássaros voarem com ossos feitos de ouro sólido, com as veias cheias de mercúrio, a carne mais pesada do que o chumbo e com asas bem pequenas. Mas ele não o fez, e isso devia nos mostrar alguma coisa. É só para esconder a sua ignorância que mencionas o Senhor a todo momento”.

Logo depois da publicação do *Diálogo*, a Inquisição ordenou o comparecimento de Galileu perante seu tribunal para responder a acusações de “veemente suspeita de heresia”. Quando Galileu protestou, dizendo que estava muito doente para viajar, a Inquisição ameaçou prendê-lo e arrastá-lo acorrentado até Roma. Então ele concordou e se preparou para a viagem. Enquanto esperava pela chegada de Galileu, o papa tentou recolher o *Diálogo* e ordenou à gráfica que enviasse todos os exemplares para Roma, mas era tarde demais — todos tinham sido vendidos.

O julgamento começou em abril de 1633. A acusação de heresia estava centrada no conflito entre os pontos de vista de Galileu e a afirmação bíblica de que “Deus fixou a Terra sobre suas fundações, para que não se movesse nunca mais”. A maioria dos membros da Inquisição assumiu a opinião do cardeal Bellarmine: “Afirmar que a Terra gira em torno do Sol é tão errado quanto afirmar que Jesus não nasceu de uma virgem”. Todavia, entre os dez cardeais que presidiam o julgamento, havia uma facção racionalista simpática a Galileu, liderada por Francesco Barberini, sobrinho do papa Urbano VIII. Durante duas semanas, acumularam-se provas contra Galileu, e houve até ameaças de tortura, mas Barberini continuamente pedia calma e tolerância. Até certo ponto ele foi bem-sucedido. Depois de ser considerado culpado, Galileu não foi nem executado nem lançado numa masmorra. Foi simplesmente sentenciado à prisão domiciliar por tempo indefinido, e o *Diálogo*, acrescentado à lista de livros proibidos, o *Index librorum prohibitorum*. Barberini foi um dos três juízes que não assinaram a sentença.

O julgamento de Galileu e sua punição constituem um dos episódios mais negros da história da ciência, um triunfo da irracionalidade sobre a lógica. No final do julgamento, Galileu foi forçado a abjurar, negar a verdade de seus argumentos. Contudo, ele conseguiu manter um pouco de seu orgulho em nome da ciência. Depois de ouvir a sentença de joelhos, ele se levantou e teria murmurado as palavras “*Eppur si muove!*” (“E no entanto ela se move!”). Em outras palavras, a verdade é ditada pela realidade, não pela Inquisição. A despeito do que a Igreja pudesse afirmar, o universo ainda funcionava de acordo com suas próprias leis científicas imutáveis, e a Terra de fato orbitava o Sol.

Galileu mergulhou no isolamento. Confinado a sua casa, ele continuou a pensar a respeito das leis que regem o Universo, mas suas pesquisas foram severamente limitadas quando ele ficou cego em 1637, talvez devido a um glaucoma provocado pela observação do Sol através do telescópio. O grande observador não podia mais observar. Galileu morreu em 8 de janeiro de 1642. E, num ato final de punição, a Igreja não permitiu que ele fosse enterrado em terreno consagrado.

## **A pergunta fundamental**

O modelo centrado no Sol aos poucos se tornou amplamente aceito pelos astrônomos ao longo do século seguinte, em parte porque mais prova observacional estava sendo reunida com a ajuda de telescópios melhores e em parte devido aos avanços teóricos para explicar a física subjacente ao modelo. Outro fator importante foi que uma geração de astrônomos tinha morrido. A morte é um elemento essencial no progresso da ciência, já que elimina os cientistas conservadores da geração anterior, relutantes em abandonar uma teoria velha e falaciosa para adotar uma nova e mais precisa. Sua teimosia é compreensível, já que associam o trabalho de uma vida inteira a um modelo estabelecido e hesitam em face da possibilidade de abandoná-lo a favor de um novo modelo. Como Max Planck, um dos maiores físicos do século XX comentou, “uma inovação científica importante raramente se estabelece aos poucos, conquistando e convertendo seus opositores: é muito pouco comum que Saulo se transforme em Paulo. O que acontece é que os opositores gradualmente vão morrendo e a nova geração se familiariza com a idéia desde o começo”.



Em paralelo à aceitação da visão de universo heliocêntrica pela comunidade astronômica, houve também uma mudança de atitude por parte da Igreja. Os teólogos perceberam que pareceriam tolos se continuassem a negar o que os homens cultos consideravam uma realidade. Assim, a Igreja suavizou sua posição em relação à astronomia e a muitas outras áreas da ciência, o que deu origem a um período de liberdade intelectual. Ao longo do século XVIII, os cientistas aplicariam sua competência a uma ampla variedade de questões relacionadas ao mundo natural, substituindo os mitos sobrenaturais, os erros filosóficos e os dogmas religiosos por respostas e explicações naturais precisas, lógicas e verificáveis. Eles estudaram tudo, da natureza da luz ao processo da reprodução, dos componentes da matéria à mecânica dos vulcões.

Contudo, uma questão em especial era notoriamente ignorada, porque os cientistas concordavam que ela estava além de sua alçada, e de fato parecia inacessível a qualquer empreitada intelectual. Parecia que ninguém estava disposto a enfrentar a pergunta fundamental sobre como o universo fora criado. Os cientistas se contentavam em explicar os fenômenos naturais, e a criação do universo era considerada um fenômeno sobrenatural. Além do mais, a abordagem desse assunto teria colocado em risco o respeito mútuo que se desenvolvera entre a ciência e a religião. As noções modernas de um Big Bang sem Deus teriam parecido heréticas para os teólogos do século XVIII, assim como o universo centrado no Sol ofendera a Inquisição no século XVII. Na Europa, a Bíblia continuava a ser considerada a autoridade inquestionável sobre a criação do universo, e a grande maioria dos catedráticos aceitava que Deus tinha criado o céu e a Terra.

Parecia que a única questão aberta à discussão era *quando* Deus criara o universo. Os estudiosos percorriam as listas de gerações bíblicas, do Gênesis em diante, somando os anos a cada nascimento, levando em conta Adão, os profetas, os reis e assim por diante, mantendo um cuidadoso registro dos totais enquanto prosseguiam. Havia incertezas suficientes para que a data estimada da criação variasse em até 3 mil anos, dependendo de quem fazia a contagem. Afonso X, de Castela e Leão, por exemplo, o rei responsável pelas *Tábuas alfonsinas*, sugeria a data mais antiga para a criação como sendo 6904 a.C., enquanto Johannes Kepler preferia uma data na extremidade inferior da escala, 3992 a.C.

O cálculo mais minucioso foi feito por James Ussher, que se tornou arcebispo de Armagh em 1624. Ele empregou um agente no Oriente Médio para procurar os mais antigos textos bíblicos conhecidos, que tornassem sua estimativa menos suscetível a erros de transcrição e tradução. Também fez um enorme esforço para ancorar a cronologia do Velho Testamento a um acontecimento da história escrita. No final, descobriu que a morte de Nabucodonosor era mencionada indiretamente no Segundo Livro dos Reis, e assim poderia ser datada em termos de história bíblica. A morte e sua data também apareciam em uma lista de reis da Babilônia compilada pelo astrônomo Ptolomeu, e assim poderia ser ligada ao registro histórico moderno. Conseqüentemente, depois de muitos cálculos e pesquisas históricas, Ussher conseguiu afirmar que a data da criação era sábado, 22 de outubro de 4004 a.C. E, para ser mais preciso, Ussher anunciou que o tempo começara às seis da tarde daquele dia, baseado em uma passagem do Livro do Gênese que afirmava que “a noite e a madrugada foram o primeiro dia”.

Embora isso possa parecer uma interpretação literal absurda da Bíblia, ela fazia sentido para uma sociedade que julgava as Escrituras como a autoridade definitiva na grande questão da criação. De fato, a data do bispo Ussher foi reconhecida pela Igreja Anglicana em 1701 e posteriormente publicada na margem de abertura da Bíblia do rei James até o século XX. Até mesmo cientistas e filósofos estavam satisfeitos por aceitar a data de Ussher mesmo no meio do século XIX.

Entretanto, a pressão científica para questionar 4004 a.C. como o ano da criação ganhou força quando Charles Darwin publicou sua teoria da evolução pela seleção natural. Embora Darwin e seus seguidores achassem a seleção natural irresistível, tinham que admitir que era um processo de evolução lento demais, totalmente incompatível com a declaração de Ussher de que o mundo tinha apenas 6 mil anos de idade. Conseqüentemente, houve um esforço coordenado para determinar a idade da Terra através de métodos científicos, com a esperança de estabelecer uma idade de milhões ou mesmo bilhões de anos.

Os geólogos vitorianos analisaram a taxa de deposição das rochas sedimentares e estimaram que a Terra tinha pelo menos vários milhões de anos de idade. Em 1897, lord Kelvin usou uma técnica diferente: ele presu-

miu que o mundo devia ser feito de rocha derretida quando se formou e calculou que devia ter levado pelo menos 20 milhões de anos para que esfriasse até a temperatura atual. Um par de anos depois, John Joly usou uma hipótese diferente, de que os oceanos começaram com água pura, e estimou quanto tempo levaria para que os sais se dissolvessem até darem aos mares a sua atual salinidade, o que parecia implicar uma idade em torno de 100 milhões de anos. Nos primeiros anos do século XX, os físicos demonstraram que a radioatividade podia ser usada para datar a Terra, o que levou a uma estimativa de 500 milhões de anos em 1905. Aprimoramentos dessa técnica aumentaram a idade para mais de 1 bilhão de anos em 1907. O jogo da datação demonstrava ser um enorme desafio científico, mas ficava claro que cada nova medida fazia a Terra parecer cada vez mais antiga.

Os cientistas testemunharam essa imensa mudança em sua concepção da idade da Terra, e houve uma mudança paralela no modo como viam o universo. Antes do século XIX os cientistas geralmente adotavam a visão *catastrofista*, acreditando que catástrofes poderiam explicar a história do universo. Em outras palavras, nosso mundo tinha sido criado e moldado por uma série de eventos cataclísmicos súbitos, tais como um maciço levantamento de rochas para criar montanhas, ou o dilúvio bíblico para esculpir as formações geológicas que vemos hoje em dia. Tais catástrofes eram essenciais para que a Terra pudesse ter sido formada no curso de alguns milhares de anos. Mas, no final do século XIX, depois de estudar a Terra com mais detalhes e à luz dos últimos resultados na datação de amostras de rochas, os cientistas mudaram para uma visão *uniformitarista* do mundo, acreditando numa mudança gradual e uniforme para explicar a história do universo.

Os uniformitaristas estavam convencidos de que as montanhas não tinham aparecido da noite para o dia, mas se erguido na proporção de alguns milímetros por ano ao longo de milhões de anos.

O crescente movimento uniformitarizante se originou do consenso de que a Terra tinha mais de 1 bilhão de anos de idade, e o universo, portanto, devia ser mais velho ainda, talvez infinitamente velho. Um universo eterno parecia agradar a comunidade científica, porque a teoria tinha uma certa elegância, simplicidade e integralidade. Se o universo existia havia uma eternidade, então não era preciso explicar como ele fora criado, por que fora criado ou quem o criara.

Os cientistas sentiam-se especialmente orgulhosos por terem desenvolvido uma teoria do universo que não dependia mais da invocação de Deus.

Charles Lyell, o mais destacado dos uniformitaristas, declarou que o princípio do tempo estava “além do alcance dos mortais”. Tal visão foi reforçada pelo geólogo escocês James Hutton: “O resultado, portanto, de nossa presente investigação é que não encontramos vestígio de um princípio ou a perspectiva de um fim”.

O uniformitarismo teria recebido a aprovação de alguns dos primeiros cosmólogos gregos, como Anaximandro, que afirmava que planetas e estrelas “nascem e morrem dentro de um infinito eterno e imutável”. Algumas décadas depois, em torno de 500 a.C., Heráclito de Éfeso reiterou a natureza eterna do universo: “Este cosmos, igual para todos, não foi feito por deus ou por homem, mas era e sempre será: uma chama eterna, se inflamando e se extinguindo de acordo com a distância”.

E assim, no início do século XX, os cientistas estavam satisfeitos em viverem num universo eterno. Essa teoria, contudo, era baseada em indicações muito tênues. Embora houvesse sinais das datações que apontavam para um universo verdadeiramente antigo, com pelo menos bilhões de anos, a idéia de que o universo era eterno se baseava na maior parte num ato de fé. Não havia justificativa científica para se extrapolar de uma idade terrestre de bilhões de anos para um universo que fosse eterno. É certo que um universo infinitamente velho constituía uma visão cosmológica consistente e coerente, mas isso nada mais era do que um desejo, a menos que alguém pudesse encontrar alguma prova científica para apoiá-lo. De fato, o modelo do universo eterno fora construído sobre alicerces tão frágeis que provavelmente merecia o título de mito em lugar de teoria científica. O modelo do universo eterno de 1900 era uma explicação tão frágil quanto a de que houvera um deus gigante azul chamado Wulbari que separara os céus da terra.

Por fim os cosmólogos confrontariam essa situação embaraçosa. De fato eles passariam o resto do século XX lutando para substituir o último grande mito por uma explicação científica rigorosa e respeitável. Procuraram desenvolver uma teoria detalhada e buscaram provas concretas para apoiá-la, de modo que pudessem abordar com confiança a pergunta fundamental: o universo é eterno ou foi criado?

A batalha pela história do universo, finito ou infinito, envolveria teóricos obsessivos, astrônomos heróicos e experimentadores brilhantes. Uma aliança rebelde tentaria derrubar uma ordem implacável empregando as tecnologias mais modernas, dos telescópios gigantes aos satélites espaciais. Responder a pergunta fundamental resultaria em uma das aventuras mais grandiosas, mais controvertidas e desafiadoras da história da ciência.

## CAPÍTULO 1 – NO PRINCÍPIO

### RESUMO

INICIALMENTE, AS SOCIEDADES EXPLICAVAM TUDO EM TERMOS DE MITOS, DEUSES E MONSTROS.



1 NO SÉCULO VI A.C, NA GRÉCIA:  
FILÓSOFOS COMEÇARAM A DESCREVER O UNIVERSO EM TERMOS DE FENÔMENOS NATURAIS (E NÃO SOBRENATURAIS).

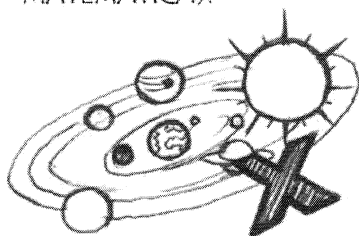
ELES CONSEGUIRAM MEDIR O TAMANHO DA TERRA, DA LUA E DO SOL E AS DISTÂNCIAS QUE OS SEPARAM USANDO:

- ◊ EXPERIÊNCIA/OBSERVAÇÃO
- ◊ LÓGICA/TEORIA (+ MATEMÁTICA).



OS PROTOCIENTISTAS GREGOS BUSCARAM TEORIAS E MODELOS QUE FOSSEM:

- ◊ SIMPLES
- ◊ PRECISOS
- ◊ NATURAIS
- ◊ VIÁVEIS



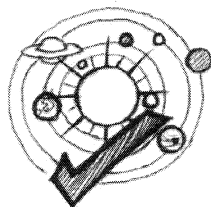
OS ASTRÔNOMOS GREGOS ESTABELECERAM UM MODELO DE UNIVERSO FALSO, CENTRADO NA TERRA, COM O SOL, AS ESTRELAS E OS PLANETAS ORBITANDO UMA TERRA FIXA.

2 QUANDO O MODELO CENTRADO NA TERRA APRESENTOU DEFEITOS, OS ASTRÔNOMOS RESPONDERAM COM REMENDOS. (EXEMPLO: OS EPICICLOS DE PTOLOMEU EXPLICAVAM O MOVIMENTO RETRÓGRADO DOS PLANETAS.)



OS TEÓLOGOS ENCORAJARAM OS ASTRÔNOMOS A PERMANECEREM FIÉIS AO MODELO CENTRADO NA TERRA PORQUE ELE ERA CONDIZENTE COM A BÍBLIA.

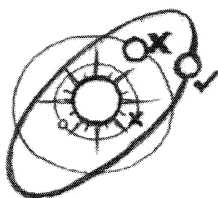
3 NO SÉCULO XVI, COPÉRNICO ELABOROU UM MODELO DE UNIVERSO CENTRADO NO SOL, NO QUAL A TERRA E OS OUTROS PLANETAS O ORBITAVAM. ERA UM MODELO SIMPLES E RAZOAVELMENTE PRECISO.



INFELIZMENTE, O MODELO DE COPÉRNICO, CENTRADO NO SOL, FOI IGNORADO, PORQUE:

- ♦ ELE ERA QUASE DESCONHECIDO.
- ♦ ELE DESAFIAVA O BOM SENSO.
- ♦ ELE ERA MENOS PRECISO QUE O DE PTOLOMEU.
- ♦ A ORTODOXIA RELIGIOSA (E CIENTÍFICA) SUFOCAVA O PENSAMENTO ORIGINAL.

4 O MODELO DE COPÉRNICO FOI APERFEIÇOADO POR KEPLER, USANDO AS OBSERVAÇÕES DE TYCHO. ELE MOSTROU QUE OS PLANETAS PERCORREM ÓRBITAS (LEVEMENTE) ELÍPTICAS, E NÃO CIRCULARES. O MODELO CENTRADO NO SOL ERA AGORA MAIS SIMPLES E MAIS PRECISO DO QUE O MODELO CENTRADO NA TERRA.



5 GALILEU DEFENDEU O MODELO CENTRADO NO SOL. ELE USOU O TELESCÓPIO PARA MOSTRAR QUE JÚPITER TINHA LUAS, QUE O SOL TINHA MANCHAS E VÊNUS APRESENTAVA FASES, O QUE CONTRADIZIA A TEORIA ANTIGA E APOIAVA A NOVA.



GALILEU ESCREVEU UM LIVRO EXPLICANDO POR QUE O MODELO CENTRADO NO SOL ERA CORRETO. INFELIZMENTE, A IGREJA O AMEAÇOU E O OBRIGOU A RETIRAR O QUE DISSERA EM 1633.

NOS SÉCULOS POSTERIORES, A IGREJA TORNOU-SE MAIS TOLERANTE. OS ASTRÔNOMOS ADOTARAM O MODELO CENTRADO NO SOL E A CIÊNCIA SE DESENVOLVEU.

6 EM 1900 OS COSMÓLOGOS CONCLUÍRAM QUE O UNIVERSO NÃO FORA CRIADO, MAS QUE EXISTIA POR TODA A ETERNIDADE. MAS NÃO HAVIA EVIDÊNCIA QUE APOIASSE TAL TEORIA. A HIPÓTESE DO UNIVERSO ETERNO NÃO ERA MAIS QUE UM MITO.

7 OS COSMÓLOGOS DO SÉCULO XX RETOMARAM A GRANDE QUESTÃO E A ABORDARAM CIENTIFICAMENTE.



O UNIVERSO TERIA SIDO CRIADO?  
OU  
TERIA EXISTIDO POR TODA A ETERNIDADE?

## Capítulo 2

---

# TEORIAS DO UNIVERSO

---

*[A teoria da relatividade de Einstein] é provavelmente a maior conquista do intelecto humano até a época atual.*

BERTRAND RUSSELL

*Foi como se uma parede que nos separava da Verdade tivesse desabado. Extensões maiores e grandes profundidades estavam agora expostas ao olhar investigador do conhecimento, regiões sobre as quais não tínhamos nem mesmo um pressentimento. Ela nos aproximou muito mais da compreensão do plano subjacente a todos os acontecimentos físicos.*

HERMANN WEYL

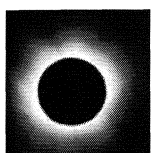
*Mas os anos de busca ansiosa, procurando na escuridão por uma Verdade que se sente, mas que não se consegue expressar, o intenso desejo e as variações de confiança e receio até finalmente emergir na luz — só aqueles que passaram pela experiência podem compreendê-la.*

ALBERT EINSTEIN

*É impossível viajar mais rápido do que a luz e certamente nem é desejável, porque o chapéu fica sendo arrancado pelo vento.*

WOODY ALLEN





Ao longo das primeiras décadas do século XX, os cosmólogos desenvolveram e testaram toda uma série de modelos do universo. Esses modelos surgiram quando os físicos adquiriram uma compreensão mais clara do universo e das leis científicas que o sustentam. Quais são as substâncias que formam o universo e como elas se comportam? O que provoca a força da gravidade e como a gravidade rege as interações entre as estrelas e os planetas? E, se o universo foi feito de espaço e evoluiu no tempo, o que exatamente os físicos chamam de espaço e de tempo? Responder a todas essas questões fundamentais só se tornaria possível depois que os físicos tivessem abordado uma pergunta simples e aparentemente inocente: qual é a velocidade da luz?

Quando vemos o clarão de um relâmpago, é porque o relâmpago está emitindo luz, que pode ter percorrido vários quilômetros em nossa direção até chegar aos nossos olhos. Os antigos filósofos se perguntavam como a velocidade da luz afetava o sentido da visão. Se a luz viaja a uma velocidade finita, então ela levaria algum tempo para chegar até nós, e assim, na ocasião em que vemos o relâmpago, ele pode não existir mais. De outro modo, se a luz se move infinitamente rápido, então ela alcançaria os nossos olhos instantaneamente e veríamos o relâmpago no momento em que ele ocorre. Decidir qual é o cenário correto parecia além da capacidade dos antigos.

A mesma pergunta seria feita em relação ao som, mas dessa vez a resposta era mais óbvia. O trovão e o relâmpago são gerados simultaneamente, mas ouvimos o trovão depois de ver o relâmpago. Para os antigos filósofos, era razoável presumir que o som tinha uma velocidade finita e por certo viajava mais lentamente do que a luz. Assim, eles estabeleceram uma teoria da luz e do som baseada na seguinte cadeia de raciocínio incompleto:

1. A queda de um raio gera luz e som.
2. A luz viaja ou muito rápido ou infinitamente rápido em direção a nós.
3. Vemos o relâmpago logo depois que ele acontece, ou instantaneamente.
4. O som se desloca mais lentamente (aproximadamente 1.000 km/h).
5. Portanto, nós ouvimos o trovão algum tempo depois, dependendo da distância do local onde o raio caiu.

Ainda assim, a pergunta fundamental em relação à velocidade da luz — se era finita ou infinita — continuou a estimular as maiores mentes do mundo durante séculos. No século IV a.C., Aristóteles afirmou que a luz viajava com velocidade infinita, e assim o acontecimento e a observação seriam simultâneos. No século XI, os cientistas islâmicos Ibn Sina e al-Haytham assumiram uma posição oposta, acreditando que a velocidade da luz, embora extraordinariamente alta, era finita, e assim qualquer acontecimento seria observado algum tempo depois de acontecer.

Havia claramente uma diferença de opiniões, mas em ambos os casos o debate permaneceu puramente filosófico até 1638, quando Galileu propôs um método para medir a velocidade da luz. Dois observadores com lâmpadas e obturadores ficariam a alguma distância um do outro. O primeiro observador piscaria um sinal para o segundo, que então faria o mesmo sinal luminoso de volta. O primeiro observador poderia então estimar a velocidade da luz medindo o tempo entre o envio e o recebimento dos sinais. Infelizmente Galileu já estava cego e vivendo sob prisão domiciliar quando teve esta idéia, e nunca conseguiu realizar a experiência.

Em 1667, 25 anos depois da morte de Galileu, a famosa Accademia del Cimento, de Florença, decidiu testar a idéia de Galileu. Inicialmente os dois observadores ficaram próximos. Um piscou a lanterna para o outro, e o outro viu o sinal e piscou de volta. O primeiro homem estimou o tempo transcorrido entre o envio do primeiro sinal e a visão do clarão de resposta e o resultado foi um intervalo de uma fração de segundo. Isso, entretanto, poderia ser atribuído ao seu tempo de reação. A experiência foi repetida várias vezes com os dois homens ficando cada vez mais afastados para medir o tempo do clarão de resposta sobre distâncias cada vez maiores. Se o tempo de retorno tivesse aumentado com a distância, isso indicaria uma velocidade

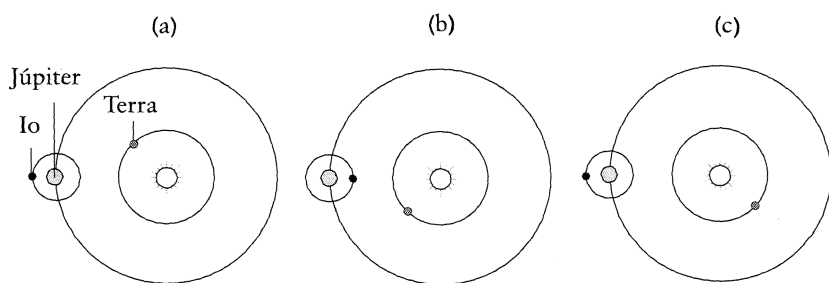
finita e relativamente baixa para a luz, mas na realidade o tempo de retorno permaneceu constante. Isso implicava que a velocidade da luz ou era infinita, ou era tão rápida que o tempo que a luz levava para viajar entre os dois observadores era insignificante comparado com seus tempos de reação. Os experimentadores só puderam chegar à conclusão limitada de que a velocidade da luz ficava em algum valor entre 10.000 km/h e infinito. Se fosse mais lenta, eles teriam detectado um atraso crescente à medida que os homens se afastavam.

A dúvida sobre a velocidade da luz ser finita ou infinita permaneceu sem resposta até que um astrônomo dinamarquês chamado Ole Römer abordou o problema alguns anos depois. Quando jovem, ele tinha trabalhado no antigo observatório de Tycho Brahe, em Uraniborg, medindo a localização exata do observatório de modo que as observações de Tycho pudessem ser relacionadas com outras, feitas em outras partes da Europa. Em 1672, tendo conquistado a reputação de ser um excelente pesquisador do céu, ele recebeu uma oferta para ocupar um cargo na prestigiada Academia de Ciências de Paris, que fora estabelecida de modo que os cientistas pudessem fazer pesquisas independentes, ficando livres dos caprichos de reis, rainhas e papas. Foi em Paris que seu colega acadêmico Giovanni Domenico Cassini encorajou Römer a estudar uma estranha anomalia associada às luas de Júpiter, em especial Io. Cada lua deveria orbitar Júpiter de modo perfeitamente regular, tal como a nossa Lua orbita a Terra com regularidade, mas os astrônomos ficaram chocados ao descobrir que os tempos de Io eram levemente irregulares. Às vezes Io aparecia por trás de Júpiter alguns minutos antes do programado, enquanto outras vezes estava alguns minutos atrasada. Uma lua não deveria se comportar dessa maneira, e todos ficaram intrigados com a atitude lânguida de Io.

De modo a investigar o mistério, Römer estudou minuciosamente a tabela de posições e horários de Io que tinha sido registrada por Cassini. Nada fazia sentido até que ocorreu a Römer que ele poderia explicar tudo se a luz tivesse uma velocidade finita, como mostrado na figura 19. Às vezes Terra e Júpiter estavam no mesmo lado do Sol, enquanto em outras ocasiões se encontravam em lados opostos e bem distantes. No ponto de máxima separação entre Terra e Júpiter, a luz de Io tinha que viajar mais 300 milhões de

quilômetros antes de chegar à Terra, comparado com a distância quando os dois planetas estavam mais próximos. Se a luz tinha uma velocidade finita, então levaria mais tempo para cobrir essa distância extra, dando a impressão de que Io estava atrasada. Resumindo, Römer afirmou que Io era perfeitamente regular, e sua irregularidade aparente era uma ilusão provocada pelos tempos diferentes que a luz de Io levava para cobrir distâncias diferentes até a Terra.

Para ajudar a entender o que estava acontecendo, imagine que você está próximo de um canhão que é disparado exatamente a cada hora. Você ouve



**Figura 19** Ole Römer mediu a velocidade da luz ao estudar os movimentos da lua Io de Júpiter. Esses diagramas apresentam uma ligeira variação em relação ao método real. No diagrama (a), Io está a ponto de desaparecer por trás de Júpiter; no diagrama (b), Io já completou meia revolução, de modo que está na frente de Júpiter. Enquanto isso, Júpiter quase não se moveu, mas a Terra movimentou-se de modo significativo porque a Terra orbita o Sol 12 vezes mais rapidamente do que Júpiter. Um astrônomo na Terra mede o tempo que se passou entre (a) e (b), ou seja, o tempo que levou para Io completar metade de uma revolução.

No diagrama (c), Io já completou outra meia revolução de volta para onde começou, enquanto a Terra se moveu para uma posição ainda mais afastada de Júpiter. O astrônomo mede o tempo entre (b) e (c), que deveria ser o mesmo que entre (a) e (b), mas de fato se revela significativamente mais longo. A razão para o tempo extra é que a luz de Io leva um pouco mais de tempo para cobrir a distância extra até a Terra no diagrama (c), porque a Terra agora está mais afastada de Júpiter. O atraso no tempo e a distância entre a Terra e Júpiter podem ser usados para estimar a velocidade da luz. (A distância percorrida pela Terra nesses diagramas foi exagerada porque Io orbita Júpiter em menos de dois dias. A posição de Júpiter também mudaria e complicaria a questão.)

o canhão e aciona o seu cronômetro e então começa a se afastar no carro, dirigindo em uma linha reta a 100 km/h, de modo que está a cem quilômetros de distância quando o canhão dispara de novo. Você pára o carro e ouve um fraco estampido. E, como o som viaja a aproximadamente 1.000 km/h, você perceberá ter ouvido o segundo disparo 66 minutos depois do primeiro e não sessenta minutos. Os 66 minutos são a soma do intervalo real de sessenta minutos entre os disparos e os seis minutos que o som do segundo disparo leva para cobrir os cem quilômetros e chegar até você. O canhão é perfeitamente regular em seus disparos, mas você experimenta um atraso de seis minutos devido à velocidade finita do som e sua nova posição.

Depois de passar três anos analisando as observações de Io e as posições relativas de Terra e Júpiter, Römer conseguiu estimar que a velocidade da luz seria 190.000 km/h. De fato, o valor verdadeiro é quase 300.000 km/s, mas o que interessa é que Römer tinha mostrado que a luz tinha uma velocidade finita e deduziu um valor que não era loucamente impreciso. O antigo debate fora resolvido, afinal.

Contudo Cassini ficou aborrecido quando Römer anunciou seu resultado, porque ele não recebera reconhecimento, embora os cálculos de Römer fossem baseados, em sua maior parte, nas suas observações. Por isso Cassini tornou-se um duro crítico de Römer e um porta-voz da maioria que ainda preferia a teoria de que a velocidade da luz era infinita. Römer não desistiu e usou sua velocidade da luz finita para prever que um eclipse de Io, em 9 de novembro de 1676, aconteceria dez minutos atrasado em relação ao horário previsto por seus opositores. Num caso clássico de “eu não disse?”, o eclipse de Io aconteceu vários minutos fora do horário. Römer mostrara que estava certo e publicou outro trabalho confirmando sua medida da velocidade da luz.

A previsão do eclipse deveria ter resolvido a questão de uma vez por todas. E, no entanto, como vimos no caso do debate sobre o Sol e a Terra no centro, fatores além da pura lógica e da razão as vezes influenciam o consenso científico. Cassini ocupava uma posição mais elevada que Römer e viveu mais do que ele, e assim, através de manobras políticas e simplesmente por se manter vivo, ele conseguiu mudar as opiniões contra o argumento de Römer de que a luz tinha uma velocidade finita. Algumas décadas depois,

contudo, Cassini e seus colegas foram substituídos por uma nova geração de cientistas, que examinaram a conclusão de Römer de modo imparcial, fizeram seus próprios testes e a aceitaram.

Uma vez estabelecido que a velocidade da luz era finita, os cientistas se voltaram para outro mistério em relação a sua propagação: qual era o meio responsável pelo deslocamento da luz? Os cientistas sabiam que o som pode viajar em uma variedade de meios — os seres humanos, quando falam, enviam ondas sonoras através de um meio gasoso, o ar; as baleias cantam umas para as outras usando a água líquida como meio, e podemos ouvir o bater dos nossos dentes através do meio sólido dos nossos ossos entre os dentes e os ouvidos. A luz também pode viajar através de gases, líquidos e sólidos, como o ar, a água e o vidro, mas havia uma diferença fundamental entre luz e som, como fora demonstrado por Otto von Guericke, o burgomestre de Magdenburgo que realizara uma série de experiências famosas em 1657.

Von Guericke tinha inventado a primeira bomba de vácuo e conseguiu explorar as estranhas propriedades do vácuo. Em uma experiência, ele colocou dois grandes hemisférios de latão unidos frente a frente e sugou o ar de dentro deles de modo que se comportassem como duas ventosas excepcionalmente poderosas. Então, numa maravilhosa exibição de espetáculo científico, ele demonstrou que dois conjuntos de oito cavalos não eram capazes de separar os dois hemisférios.

Numa experiência ainda mais elegante, Von Guericke retirou o ar de uma jarra de vidro contendo uma campainha. À medida que o ar era sugado, a platéia não conseguia mais ouvir a campainha tocando, mas podia ver o martelinho golpeando a sineta. Estava claro, portanto, que o som não podia viajar através do vácuo. Ao mesmo tempo, a experiência mostrou que a luz podia viajar pelo vácuo, porque a campainha não desapareceu e o interior da jarra não ficou escuro. De modo estranhíssimo, se a luz podia viajar através do vácuo então alguma coisa podia viajar através do nada.

Confrontados com esse aparente paradoxo, os cientistas começaram a se perguntar se o vácuo era de fato vazio. O ar fora retirado da jarra, mas talvez ainda existisse alguma coisa lá dentro, algo que fornecera um meio para a transmissão da luz. No século XIX, os cientistas tinham proposto que todo o universo era permeado por uma substância que chamaram de *éter*

*luminescente*, que, de alguma forma, agia como meio para o transporte da luz. Essa substância hipotética necessariamente teria algumas propriedades notáveis, como lembrou o grande cientista vitoriano lord Kelvin:

Agora, o que é o éter luminescente? É uma matéria prodigiosamente menos densa do que o ar — milhões e milhões de vezes menos densa do que o ar. Podemos ter alguma idéia de seus limites. Acreditamos que é uma coisa real, com grande rigidez em comparação com sua densidade: pode ser feita para vibrar 400 bilhões de vezes por segundo; e, no entanto, ser de uma densidade que não opõe a menor resistência a nenhum corpo que se desloque através dela.

Em outras palavras, o éter era incrivelmente forte e no entanto estranhamente insubstancial. Era também transparente, sem atrito e quimicamente inerte. Estava em toda parte ao nosso redor, e no entanto era difícil de identificar porque ninguém jamais o vira, agarrara ou dera de cara com ele. Apesar disso, Albert Michelson, o primeiro americano a ganhar o prêmio Nobel de Física, achava que podia provar a sua existência.

Os pais judeus de Michelson tinham fugido das perseguições na Prússia em 1854, quando ele tinha apenas dois anos de idade. Ele passou a infância e estudou em San Francisco antes de entrar para a Academia Naval dos Estados Unidos, onde se graduou em 25º lugar em conhecimentos navais e primeiro em óptica. O que provocou a seguinte observação do superintendente da Academia: “Se no futuro o senhor der menos atenção a essas coisas científicas e mais ao conhecimento da artilharia naval, pode chegar uma ocasião em que saberá o suficiente para ser de alguma utilidade ao seu país”. Michelson, de modo inteligente, passou a dedicar-se à pesquisa óptica em tempo integral, e, em 1878, com apenas 25 anos de idade, ele determinou que a velocidade da luz era de  $299.910 \pm 50$  km/s, o que era vinte vezes mais preciso do que qualquer estimativa anterior.

Então, em 1880, Michelson projetou uma experiência que ele torcia que provasse a existência do éter condutor da luz. Seu equipamento dividia um único raio de luz em dois raios separados, perpendiculares. Um raio viajava na mesma direção do movimento da Terra através do espaço,

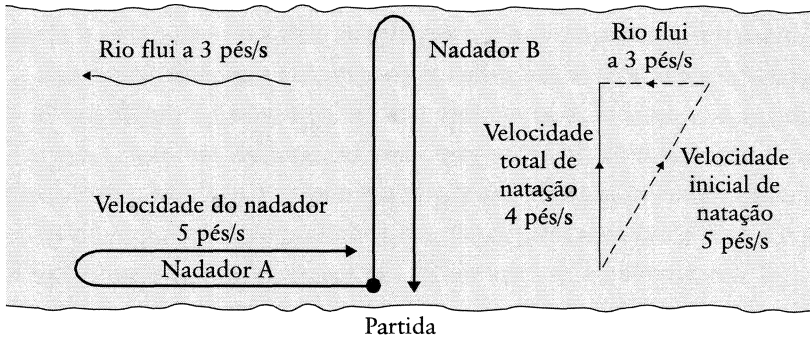
enquanto o outro se movia numa direção em ângulo reto com o primeiro. Ambos percorriam uma distância igual, eram refletidos por espelhos e então voltavam a se combinar num único feixe. Ao se combinarem, sofriam um processo conhecido como interferência, que permitia que Michelson comparasse os dois raios de luz e identificasse qualquer discrepância nos tempos de percurso.

Michelson sabia que a Terra viaja a aproximadamente 100.000 km/h na sua trajetória em torno do Sol, o que presumivelmente significava que ela passaria através do éter com essa velocidade. E, como se supunha que o éter fosse um meio estável, que permeava o universo, a passagem da Terra através do espaço deveria criar uma espécie de *vento de éter*. Isso seria semelhante ao falso vento que você sente se andar num carro sem capota, em alta velocidade, num dia calmo — não está na verdade ventando, mas parece que está devido ao seu movimento. Portanto, se a luz fosse transportada no éter e por meio dele, sua velocidade seria afetada pelo vento de éter. Mais especificamente, na experiência de Michelson um raio de luz estaria viajando ao vento do éter e contra ele, e assim deveria ter sua velocidade afetada de modo significativo enquanto o outro raio estaria atravessando o vento de éter lateralmente e sua velocidade seria menos afetada. Se os tempos de percurso dos dois raios fossem diferentes, então Michelson conseguiria usar essa discrepância como uma forte evidência a favor da existência do éter.

A experiência para detectar o vento de éter era tão complexa que Michelson explicou seus termos na forma de um enigma.

Suponha que temos um rio com 100 pés (30 metros) de largura e dois nadadores que nadam com a mesma velocidade, digamos 5 pés por segundo (1,5 metro por segundo). O rio flui com uma corrente estável de 3 pés (90 centímetros por segundo). Os nadadores disputam do seguinte modo: ambos partem de um mesmo ponto em uma das margens. Um deles nada diretamente através do rio para o ponto mais próximo da margem oposta, então vira e nada de volta. O outro fica num dos lados do rio, nadando rio acima por uma distância (medida ao longo da margem) igual à largura do rio, e então volta ao ponto de partida. Qual deles chega primeiro? [Ver a solução na figura 20.]





**Figura 20** Albert Michelson usou este problema de natação para explicar sua experiência do éter. Os dois nadadores desempenham o mesmo papel de dois raios de luz, movendo-se em direções perpendiculares e então retornando, ambos, ao mesmo ponto de partida. Um deles nada primeiro a favor e depois contra a correnteza, enquanto o outro nada através da corrente — exatamente como um raio de luz viaja junto e então contra o vento do éter enquanto o outro o atravessa. O objetivo do problema é determinar o vencedor de uma corrida em uma distância de 200 pés (60 metros) entre os dois nadadores que podem nadar com uma velocidade de 5 pés por segundo na água parada. O nadador A vai rio acima num percurso de 100 pés (30 metros) e depois nada a favor da correnteza outros 100 pés, enquanto o nadador B atravessa o rio e volta, também percorrendo dois trechos de 100 pés. O rio tem uma correnteza de 3 pés/s.

O tempo que o nadador A leva para ir rio acima e então rio abaixo é fácil de analisar. Nadando a favor da correnteza, o nadador tem uma velocidade total de 8 pés/s ( $5 + 3$  pés/s), assim ele leva 12,5 segundos para percorrer os 100 pés. Ao voltar contra a correnteza, ele nada com uma velocidade de apenas 2 pés/s ( $5 - 3$  pés/s), assim ele leva 50 segundos para percorrer este outro trecho de 100 pés. Portanto, seu tempo total para nadar os 200 pés é de 62,5 segundos.

O nadador B, ao atravessar o rio, tem que nadar num ângulo para compensar a correnteza. O teorema de Pitágoras nos diz que, se ele nadar a 5 pés/s no ângulo correto, terá um componente rio acima de 3 pés/s que cancela o efeito da corrente e um componente transversal de 4 pés/s. Com isso ele nada os primeiros 100 pés em apenas 25 segundos e então leva outros 25 segundos para voltar, levando um tempo total de 50 segundos para nadar 200 metros.

Embora ambos os nadadores possam nadar com a mesma velocidade em água parada, o nadador que cruza a correnteza vence a corrida contra o nadador que vai a favor e depois contra a correnteza. Por isso, Michelson suspeitava de que um raio de luz que se deslocasse através do vento do éter teria um tempo de viagem mais curto do que um raio que se deslocasse primeiro a favor e depois contra o vento do éter. Ele projetou uma experiência para verificar se isso acontecia.

Michelson investiu nas melhores fontes de luz e espelhos disponíveis para sua experiência e tomou todas as precauções possíveis na montagem do aparelho. Tudo foi cuidadosamente alinhado, nivelado e polido. Para aumentar a sensibilidade de seu equipamento e minimizar os erros, ele fez a montagem principal flutuar num grande banho de mercúrio, isolando-a, portanto, de fatores externos, como os tremores provocados por passos distantes. O objetivo de sua experiência era provar a existência do éter, e Michelson fez tudo o que podia para maximizar a chance de sua detecção. E por esse motivo ficou atônito com a completa e total incapacidade de detectar qualquer diferença nos tempos de chegada dos dois raios perpendiculares. Não havia o menor sinal de éter. Era um resultado chocante.

Desesperado para descobrir o que saíra errado, Michelson recrutou o químico Edward Morley. Juntos, eles reconstruíram o aparelho, aperfeiçoando cada peça de equipamento para tornar a experiência ainda mais sensível, e então voltaram a fazer as medições. Finalmente, em 1887, depois de passarem sete anos repetindo a experiência, eles publicaram seus resultados definitivos. Não havia sinal de éter. Portanto, eles foram forçados a concluir que o éter não existia.

Levando em conta seu conjunto ridículo de propriedades — supunha-se que fosse a substância menos densa e mais rígida do universo —, não devia causar surpresa que o éter fosse uma ficção. Não obstante, os cientistas o abandonaram com grande relutância, porque fora o único meio concebível para explicar como a luz era transmitida. Até mesmo Michelson teve problemas para aceitar sua própria conclusão. Ele certa vez se referiu ao “velho e amado éter, que agora foi abandonado, embora eu, pessoalmente, ainda me agarre um pouco a ele”.

A crise da não-existência do éter foi aumentada porque se supunha que ele fosse responsável pelo transporte dos campos elétricos e magnéticos, assim como da luz. A terrível situação foi bem resumida pelo escritor científico Banesh Hoffmann:

Primeiro tínhamos o éter luminescente  
Depois tínhamos o éter eletromagnético,  
E agora não temos nenhum dos dois.

Assim, no fim do século XIX, Michelson provara que o éter não existia. Ironicamente, ele tinha construído sua carreira sobre uma série de experiências bem-sucedidas, relacionadas com a óptica, mas seu maior triunfo resultaria de uma experiência fracassada. Seu objetivo, o tempo todo, fora provar a existência do éter, não a sua ausência. Os físicos agora tinham que aceitar que a luz, de algum modo, podia viajar através do vácuo — através de espaço desprovido de qualquer meio.

A conquista de Michelson exigira equipamento experimental caro e especializado e anos de esforços. Mais ou menos na mesma época, um jovem solitário, sem saber da conquista de Michelson, também concluíra que o éter não existia, mas baseado em argumentos puramente teóricos. Seu nome era Albert Einstein.

## **As experiências mentais de Einstein**

As proezas juvenis de Einstein e mais tarde sua genialidade plenamente desenvolvida brotaram em grande parte de sua imensa curiosidade a respeito do mundo ao seu redor. Ao longo de sua carreira prolífica, revolucionária e visionária, ele nunca parou de se maravilhar com as leis subjacentes que regem o universo. Mesmo na idade de cinco anos, Einstein ficou fascinado pelo misterioso funcionamento de uma bússola que lhe fora dada por seu pai. O que seria a força invisível que puxava a agulha e por que ela apontava sempre para o norte? A natureza do magnetismo o fascinou pela vida inteira, o que era típico do apetite insaciável de Einstein para explorar fenômenos aparentemente triviais.

Como Einstein disse ao seu biógrafo Carl Selig, “eu não possuo talentos especiais. Sou apenas apaixonadamente curioso”. Ele também escreveu: “O mais importante é não parar de fazer perguntas. A curiosidade tem sua própria razão de existir. Não podemos deixar de nos admirar quando contemplamos os mistérios da eternidade, da vida, da maravilhosa estrutura da realidade. Já é bastante se alguém tentar compreender apenas um pouquinho desse mistério a cada dia”. O prêmio Nobel Isidor Isaac Rabi reforçou esse ponto de vista: “Acho que os físicos são os Peter Pan da raça humana. Eles nunca crescem e mantêm sua curiosidade”.

Nesse aspecto, Einstein tinha muito em comum com Galileu. Einstein escreveu uma vez: “Estamos na situação de uma criança pequena que entra em uma imensa biblioteca cujas paredes estão cobertas até o teto com livros em muitos idiomas diferentes”. Galileu fez uma analogia semelhante, mas ele condensou toda a biblioteca da natureza em um único grande livro e uma única linguagem que sua curiosidade o compelia a decifrar: “Ele está escrito na linguagem da matemática e as letras são triângulos, círculos e outras figuras geométricas, sem as quais é humanamente impossível entender uma única palavra. E sem elas ficamos vagando por um labirinto escuro”.

Galileu e Einstein também estão unidos por um interesse comum no princípio da relatividade. Galileu descobriu o princípio da relatividade, mas foi Einstein quem o explorou completamente. Numa forma simples, a relatividade de Galileu diz que todo movimento é relativo, o que significa que é impossível saber se estamos em movimento sem recorrer a uma estrutura de referência externa. Galileu declarou vividamente o que ele queria dizer por relatividade no *Diálogo*:

Tranque-se com um amigo na cabine principal sob o convés de um navio e leve com você algumas moscas, borboletas e outros pequenos animais voadores. Tenha também um aquário com peixes dentro e pendure uma garrafa que goteje sobre uma bacia embaixo dela. Com o navio parado, observe cuidadosamente como os pequenos animais voam com igual velocidade em todos os lados da cabine; como os peixes nadam indiferentemente em todas as direções e como as gotas caem na bacia embaixo. E, ao jogar alguma coisa para seu amigo, você não precisa atirá-la com mais força em uma direção ou na outra, a distância é igual. Se saltar com os pés unidos, vai percorrer distâncias iguais em todas as direções.

Quando tiver observado tudo isso com cuidado... faça com que o navio navegue com a velocidade que desejar, desde que o movimento seja uniforme e não flutuante desse modo ou daquele. Vai descobrir que não há nenhuma mudança nos efeitos citados, nem poderá dizer, a partir deles, se o navio está se movendo ou parado.

Em outras palavras, enquanto estiver se movendo a uma velocidade constante e numa linha reta, não há nada que possa fazer para medir a velocidade

de deslocamento, ou para dizer se está realmente em movimento. Isso acontece porque tudo ao seu redor se move com a mesma velocidade, e todos os movimentos (por exemplo, garrafas gotejando, borboletas voando) continuam inalterados, a despeito de você estar em movimento ou parado. Também o cenário de Galileu acontece “na cabine principal, debaixo do convés”, de modo que você está isolado, o que elimina qualquer esperança de detectar algum movimento relativo recorrendo-se a uma estrutura externa como referência. Se você se isolar de modo semelhante, ficando sentado com tampões nos ouvidos e os olhos fechados, dentro de um trem numa linha uniforme, será muito difícil dizer se o trem está correndo a 100 km/h ou se ainda está parado na estação, o que é outra demonstração da relatividade galileana.

Essa foi uma das maiores descobertas de Galileu, porque ajudou a convencer os astrônomos céticos de que a Terra de fato gira ao redor do Sol. Os críticos anticopernicanos argumentavam que a Terra não podia se mover ao redor do Sol porque sentiríamos esse movimento como um vento constante ou como o solo sendo puxado sob nossos pés, o que claramente não acontece. Contudo, o princípio da relatividade de Galileu diz que não sentimos a enorme velocidade da Terra através do espaço porque tudo, do solo à atmosfera, também se move pelo espaço com a mesma velocidade que nós. Uma Terra móvel é efetivamente o mesmo ambiente que experimentaríamos se ela fosse estática.

De modo geral, a teoria da relatividade de Galileu declara que não se pode afirmar se estamos nos movendo com rapidez, lentamente ou se estamos imóveis. Isso é verdade se você estiver isolado na Terra, ou num trem com os olhos e os ouvidos tampados, ou isolado de uma referência externa de qualquer outro modo.

Sem saber que Michelson e Morley tinham provado que o éter não existia, Einstein usou o princípio da relatividade de Galileu como base para explorar a possível existência do éter. Em especial, ele recorreu à relatividade galileana no contexto de um *experimento mental*, também conhecido como *experimento gedanken* (da palavra alemã para “pensamento”). Trata-se de uma experiência puramente imaginária que acontece apenas na cabeça do físico, em geral porque envolve um procedimento que não é prático de se realizar no mundo real. Embora seja uma construção puramente teórica, um

experimento mental pode, com freqüência, levar a um profundo entendimento do mundo real.

Em uma experiência mental realizada em 1896, quando tinha apenas 16 anos de idade, Einstein imaginou o que aconteceria se ele pudesse viajar com a velocidade da luz enquanto segurava um espelho diante dele. Particularmente, imaginava se seria capaz de ver o próprio reflexo. A teoria vitoriana do éter o concebia como uma substância estática que permeava todo o universo. A luz era supostamente transportada pelo éter, assim isso implicava que ela se deslocava com a velocidade da luz (300.000 km/s) em relação ao éter. Na experiência mental de Einstein, ele, seu espelho e seu rosto, também viajavam pelo éter com a velocidade da luz. Portanto, a luz deveria deixar o rosto de Einstein e tentar viajar até o espelho em sua mão, mas nunca conseguiria deixar o seu rosto, e muito menos alcançar o espelho, porque tudo se movia com a velocidade da luz. E, se a luz não podia alcançar o espelho, então ela não seria refletida de volta e, conseqüentemente, Einstein não seria capaz de ver o próprio reflexo.

Esse cenário imaginário era chocante porque desafiava completamente o princípio da relatividade de Galileu, segundo o qual uma pessoa que se deslocasse a uma velocidade constante não conseguiria determinar se estava se movendo rapidamente, lentamente, para frente ou para trás — ou até se estava de fato se movendo. A experiência mental de Einstein implicava que ele saberia quando estava se movendo com a velocidade da luz porque o seu reflexo desapareceria.

O menino prodígio tinha feito uma experiência imaginária baseado num universo cheio de éter, e o resultado era paradoxal, porque contradizia o princípio de relatividade de Galileu. A experiência mental de Einstein pode ser encenada no cenário de Galileu, sob o convés do navio: o marinheiro saberia se seu navio estava se movendo com a velocidade da luz porque seu reflexo desapareceria. Contudo Galileu tinha declarado com firmeza que o marinheiro não conseguiria perceber se o navio estava em movimento.

Alguma coisa tinha que ceder. Ou a relatividade de Galileu estava errada, ou a experiência mental de Einstein tinha uma falha fundamental. No final, Einstein percebeu que sua experiência falhara porque era baseada num universo cheio de éter. Para resolver o paradoxo, concluiu que a luz não

viaja a uma velocidade fixa em relação ao éter, que a luz não é transportada pelo éter e que o éter nem mesmo existia. Sem que ele soubesse, era exatamente isso que Michelson e Morley já tinham descoberto.

Pode-se desconfiar do experimento mental um tanto tortuoso de Einstein, especialmente se a física é vista como uma disciplina que depende de experiências reais, com equipamentos verdadeiros e medições reais. De fato, experiências mentais estão nas fronteiras da física e não são totalmente confiáveis, e é por isso que a experiência real de Michelson e Morley foi tão importante. Não obstante, a experiência imaginária de Einstein demonstrara o brilho de sua mente jovem e, o que é mais importante, o pôs no rumo para abordar as implicações de um universo desprovido de éter e seu significado em termos da velocidade da luz.

A noção vitoriana do éter fora muito confortável, porque fornecia um contexto adequado para o que os cientistas queriam dizer quando falavam na velocidade da luz. Todos aceitavam que a luz se deslocava com uma velocidade constante, 300.000 km/s e todos presumiam que isso significava 300.000 km/s em relação ao meio no qual se deslocava, que se julgava ser o éter. Tudo fazia sentido no universo vitoriano cheio de éter. Mas Michelson, Morley e Einstein tinham mostrado que não havia éter. Portanto, se a luz não precisava de um meio no qual viajar, o que os cientistas queriam dizer quando falavam em velocidade da luz? A velocidade da luz era 300.000 km/s, mas em relação ao quê?

Einstein pensou na questão intermitentemente nos anos seguintes. Por fim chegou a uma solução para o problema, mas uma solução que dependia muito da intuição. À primeira vista, sua solução parecia absurda, e no entanto depois ficaria provado que ele estava certíssimo. De acordo com Einstein, a luz se desloca a uma velocidade constante de 300.000 km/s *em relação ao observador*. Em outras palavras, não importa quais as circunstâncias ou como a luz está sendo emitida, cada um de nós pessoalmente mede a mesma velocidade da luz, que é de 300.000 km/s, ou 300.000.000 m/s (mais precisamente 299.792.458 m/s). Isso parece absurdo porque contraria a nossa experiência diária das velocidades dos objetos comuns.

Imagine um garoto com uma zarabatana que sempre lança ervilhas com a velocidade de 40 m/s. Você está encostado num muro, num ponto da rua distante do garoto. Ele dispara a zarabatana em sua direção de modo que a

ervilha deixa o cano com a velocidade de 40 m/s, cruza o espaço intermediário a 40 m/s e, quando acerta, na sua testa, certamente você sente como se ela estivesse se movendo a 40 m/s. Se o garoto montar na bicicleta e correr em sua direção a 10 m/s e disparar a zarabatana de novo, a ervilha ainda deixará o cano a 40 m/s, mas atravessará a distância a 50 m/s e o atingirá à mesma velocidade. A velocidade extra se deve ao fato de a ervilha ser lançada da bicicleta em movimento. E, se você correr na direção do garoto a 4 m/s a situação ficará ainda pior, porque a ervilha o atingirá agora movendo-se a 54 m/s. Em resumo, você (o observador) perceberá uma velocidade diferente das ervilhas dependendo de uma variedade de fatores.

Einstein acreditava que a luz se comportava de um modo diferente. Quando o garoto não está andando em sua bicicleta, então a luz do farolete o atinge com a velocidade de 299.792.458 m/s. Quando ele pedala a bicicleta em sua direção a 10 m/s a luz do farolete da bicicleta continua a atingi-lo com a velocidade de 299.792.458 m/s. E, mesmo se você andar em direção à bicicleta enquanto esta se move em sua direção, a luz ainda continuará a atingi-lo com a velocidade de 299.792.458 m/s. A luz, insistia Einstein, se desloca com uma velocidade constante em relação ao observador. Quem quer que esteja medindo a velocidade da luz, sempre encontrará o mesmo resultado, em qualquer situação. Experiências demonstrariam mais tarde que Einstein estava correto. A distinção entre o comportamento da luz e de outras coisas, tais como ervilhas, está exemplificada abaixo

	Sua visão da velocidade das ervilhas	Sua visão da velocidade da luz
Ninguém se move	40 m/s	299.792.458 m/s
Menino pedala em sua direção a 10 m/s	50 m/s	299.792.458 m/s
...e você caminha em direção ao garoto a 4 m/s	54 m/s	299.792.458 m/s



Einstein estava convencido de que a velocidade da luz deveria ser constante para o observador porque parecia o único meio de fazer sentido para sua experiência imaginária com o espelho. É possível reexaminar o experimento mental de acordo com a nova regra para a velocidade da luz. Se era o observador em sua experiência imaginária, Einstein viajava com a velocidade da luz e, não obstante, continuaria a ver a luz deixando o seu rosto com a velocidade da luz, porque ela se desloca em relação ao observador. E assim a luz deixaria Einstein com a velocidade da luz e seria refletida de volta com a mesma velocidade, o que significa que ele seria capaz de ver o seu reflexo. Exatamente a mesma coisa aconteceria se você estivesse imóvel diante do espelho do banheiro — a luz deixaria seu rosto com a velocidade da luz e seria refletida de volta com a velocidade da luz e você veria o seu reflexo. Em outras palavras, ao presumir que a velocidade da luz é constante em relação ao observador, então Einstein não seria capaz de dizer se estava se movendo com a velocidade da luz ou se estava imóvel no seu banheiro. Isso é exatamente o que o princípio da relatividade de Galileu exigia, ou seja, que você tenha a mesma experiência parado ou em movimento.

A constância da velocidade da luz em relação ao observador foi uma conclusão notável e continuou a dominar os pensamentos de Einstein. Ele ainda era apenas um adolescente, e assim, foi com a ambição e a ingenuidade da juventude que explorou as implicações de suas idéias. Por fim, ele iria a público e abalaria o mundo com suas idéias revolucionárias, mas por enquanto trabalhava em particular e continuava com sua formação.

De modo decisivo, ao longo desse período de estudos, Einstein manteve sua energia natural, sua criatividade e curiosidade, apesar da natureza autoritária de seu colégio. Ele disse uma vez: “A única coisa que interfere no meu aprendizado é a minha formação”. Ele dava pouca atenção aos seus professores, incluindo o eminente Hermann Minkowski, que deu o troco ao classificá-lo como “um cachorro preguiçoso”. Outro professor, Heinrich Weber, lhe disse: “Você é um garoto inteligente, Einstein, muito inteligente. Mas tem um grande defeito: não deixa que lhe ensinem nada”. A atitude de Einstein se devia, em parte, à recusa de Weber de ensinar as últimas idéias em física, o que era o motivo também de Einstein se dirigir a ele como Herr Weber, em vez de Herr Professor Weber.

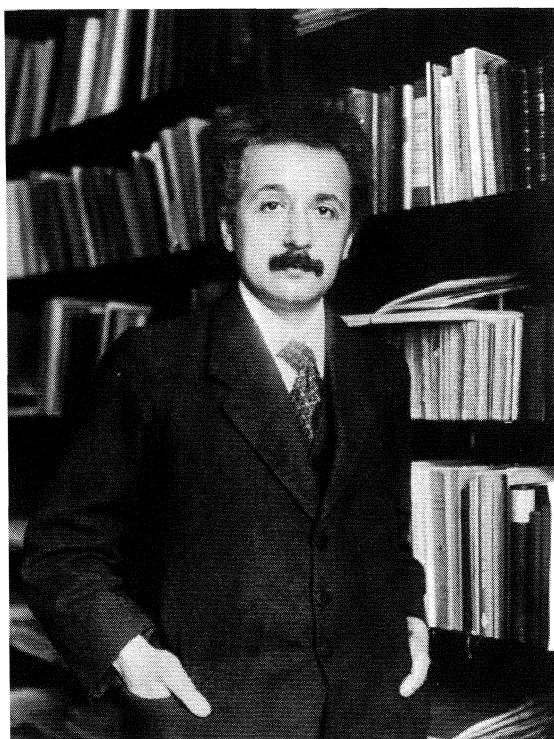
Como resultado desse choque de personalidades, Weber não escreveu a carta de recomendação que Einstein precisava para seguir uma carreira acadêmica. E, como consequência disso, passou os sete anos seguintes à sua graduação trabalhando como funcionário no escritório de patentes em Berna, na Suíça. Mas isso acabou não sendo um grande prejuízo. No lugar de ser tolhido pelas teorias aceitas, ensinadas nas grandes universidades, Einstein agora podia se sentar em seu escritório e pensar nas implicações de suas experiências mentais da adolescência — exatamente o tipo de reflexões especulativas que Herr Professor Weber teria censurado. De início, o prosaico trabalho de escritório de Einstein, como “especialista técnico de terceira classe em período de experiência”, permitia que ele cumprisse com todas as suas responsabilidades no exame de patentes em apenas algumas horas de cada dia, deixando bastante tempo livre para conduzir suas pesquisas pessoais. Se tivesse se tornado um acadêmico em uma universidade, ele teria desperdiçado dia após dia lidando com política institucional, tarefas administrativas intermináveis e pesadas responsabilidades como professor. Em carta a um amigo, ele descreveu seu escritório como “aquele retiro secular onde desenvolvi minhas idéias mais belas”.

Esses anos como funcionário de patentes se mostrariam um dos períodos mais profícuos de sua vida intelectual. Ao mesmo tempo, foi uma época bastante emotiva para o gênio em maturação. Em 1902 Einstein sofreu o choque mais profundo de toda a sua vida, quando seu pai contraiu uma doença fatal. Em seu leito de morte, Hermann Einstein deu a Albert sua permissão para que se casasse com Mileva Marié, sem saber que o casal já tinha uma filha, Lieserl. De fato, os historiadores também desconheciam a filha de Albert e Mileva até terem acesso à correspondência pessoal de Einstein no final da década de 1980. Descobriu-se que Mileva tinha retornado à sua nativa Sérvia para dar à luz, e assim que soube do nascimento de sua filha Einstein escreveu para Mileva: “Ela tem saúde e já chora adequadamente? Que tipo de olhinhos ela tem? Com qual de nós se parece mais? Quem a está amamentando? Ela tem fome? Já tem cabelos? Eu a amo tanto e nem a conheço ainda!... Ela certamente já pode chorar,

mas só vai aprender a rir muito depois. Aí está uma verdade profunda”. Albert nunca ouviria sua filha chorar ou a veria rir. O casal não podia correr o risco da vergonha social que significava ter uma filha ilegítima, e Lieserl foi oferecida para adoção na Sérvia.

Albert e Mileva se casaram em 1903 e seu primeiro filho, Hans Albert, nasceu no ano seguinte. Em 1905, enquanto equilibrava as responsabilidades da paternidade com suas obrigações de funcionário das patentes, Einstein finalmente começou a concretizar suas idéias a respeito do universo. Sua pesquisa teórica chegou ao clímax numa explosão de trabalhos científicos publicados no periódico *Annalen der Physik*. Num dos trabalhos, ele analisou o fenômeno conhecido como movimento browniano e, a partir daí, apresentou um brilhante argumento em apoio da teoria de que a matéria é formada por átomos e moléculas. Em outro trabalho, ele mostrou que o conhecido fenômeno chamado efeito fotoelétrico podia ser totalmente explicado usando a nova teoria da física quântica. Não é de admirar que esse trabalho tenha dado a Einstein um prêmio Nobel.

O terceiro trabalho, entretanto, era ainda mais brilhante. Este resumia as idéias de Einstein da década anterior sobre a velocidade da luz e sua constância em relação ao observador. O trabalho estabelecia novos fundamentos para a física e finalmente assentaria as regras para o estudo do universo. Não era tanto o caráter constante da velocidade da luz que era tão importante, mas as conseqüências que Einstein previa. As repercussões eram atordoantes até mesmo para Einstein. Ele ainda era um homem jovem, acabara de completar 26 anos quando publicou sua pesquisa e experimentou períodos de enorme dúvida em relação ao que ficaria conhecido como sua *teoria da relatividade especial*. “Devo confessar que bem no princípio, quando a teoria da relatividade especial começou a germinar em mim, fui assolado por todo tipo de conflitos nervosos. Quando jovem, eu costumava passar semanas num estado de confusão, como alguém que, naquela época, ainda não conseguia superar o estado de estupefação do primeiro choque com tais questões”.



**Figura 21** Albert Einstein fotografado em 1905, ano em que publicou a sua teoria da relatividade especial e firmou sua reputação.

Uma das conseqüências mais assombrosas da teoria da relatividade especial de Einstein é que nossa noção familiar de tempo é fundamentalmente errada. Os cientistas e os não-cientistas sempre conceberam o tempo como o avanço de algum tipo de relógio universal que tiquetaqueava sem parar, uma batida de coração cósmica, uma referência diante da qual todos os outros relógios poderiam ser acertados. O tempo seria o mesmo para todos, porque viveríamos no ritmo do mesmo relógio universal: o mesmo pêndulo oscilaria na mesma proporção hoje e amanhã, em Londres ou em Sydney, para você ou para mim. Presumia-se que o tempo era absoluto, regular e universal. Não, disse Einstein: o tempo é flexível, elástico e pessoal, assim o seu tempo pode ser diferente do meu tempo. Em particular, um relógio que se move em relação a você bate mais lentamente do que um relógio colocado

ao seu lado. Assim, se estiver em um trem em movimento e eu estiver em pé na plataforma da estação, olhando para o seu relógio quando você passa em alta velocidade, eu perceberia o seu relógio funcionando mais lentamente do que o meu.

Isso parece impossível, mas para Einstein era logicamente inevitável. O que se segue nos próximos parágrafos é uma breve explicação de por que o tempo é pessoal para o observador e depende da velocidade com que se desloca o relógio observado. Embora haja alguma matemática, as fórmulas são bem simples, e, se você puder seguir a lógica, então vai entender exatamente por que a relatividade especial nos forçou a mudar a nossa visão de mundo. Contudo, se pular a matemática ou ficar emperrado nela, não se preocupe, porque os aspectos mais importantes serão resumidos quando o cálculo estiver completo.

Para entender o impacto da teoria da relatividade especial sobre o conceito de tempo, vamos imaginar uma inventora, Alice, e seu relógio fora do comum. Todos os relógios precisam de um mecanismo com uma batida regular que possa ser usado para contar o tempo, assim como o pêndulo oscilante no relógio do vovô ou o gotejar constante num relógio de água. No relógio de Alice, esse mecanismo é uma pulsação de luz que é refletida entre dois espelhos paralelos, separados por uma distância de 1,8 metro, como mostrado na figura 22(a). Os reflexos são ideais para medir o tempo porque a velocidade da luz é constante, e assim o relógio será altamente preciso. A velocidade da luz é de 300.000.000 m/s (que pode ser escrito como  $3 \times 10^8$  m/s), assim, se uma batida for definida como o tempo para um pulso de luz viajar de um espelho para o outro e de volta, então Alice vê que o tempo entre batidas é

$$\text{Tempo}_{\text{Alice}} = \frac{\text{distância}}{\text{velocidade}} = \frac{3,6 \text{ m}}{3 \times 10^8 \text{ m/s}} = 1,2 \times 10^{-8}$$

Alice leva seu relógio para dentro de um vagão de trem que se move com uma velocidade constante ao longo de um trilho reto. Ela vê que a duração de cada batida do relógio permanece a mesma — lembre-se de que tudo

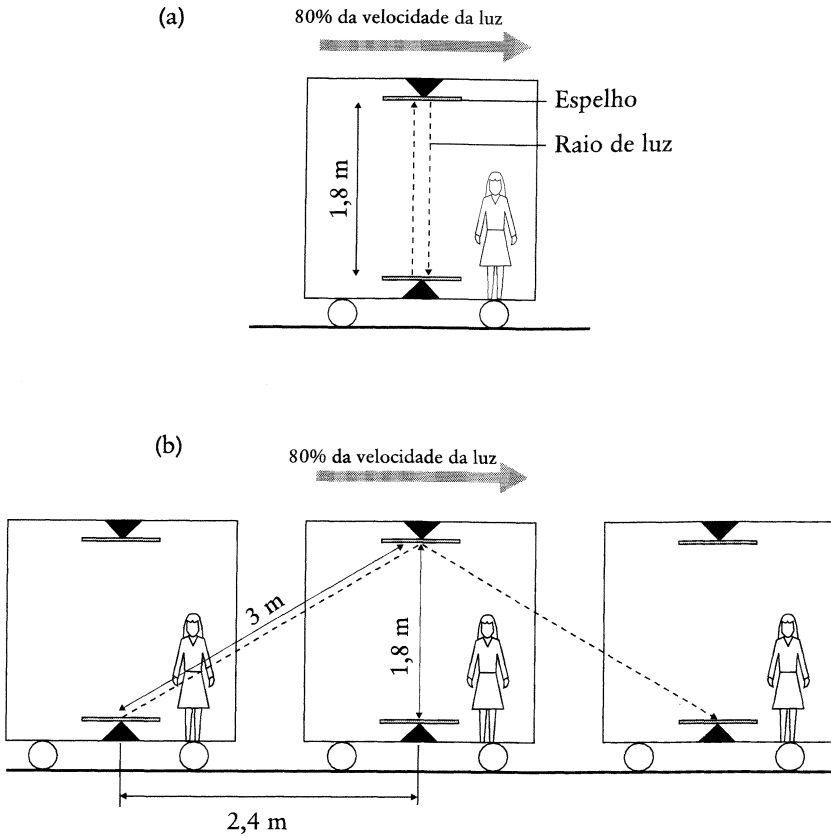
deve permanecer igual porque o princípio da relatividade de Galileu diz que deveria ser impossível para ela dizer se está parada ou em movimento pela simples observação dos objetos que viajam com ela.

Enquanto isso, o amigo de Alice, Bob, está de pé na plataforma da estação enquanto o trem passa por ela a 80% da velocidade da luz, que é de  $2,4 \times 10^8$  m/s (esse é um trem expresso no sentido mais extremo da palavra). Bob pode ver Alice e seu relógio através de uma grande janela no vagão, e do seu ponto de vista o raio de luz descreve uma trajetória em ângulo, como mostrado na figura 22(b). Ele vê a luz fazendo seu movimento normal, para cima e para baixo, mas para ele a luz também se move lateralmente, junto com o trem.

Em outras palavras, enquanto deixava o espelho inferior e chegava ao espelho superior, o relógio moveu-se para diante, de modo que a luz teve que seguir uma trajetória diagonal. De fato, da perspectiva de Bob, o trem tinha se movido para a frente 2,4 metros na ocasião em que o raio chegou ao espelho superior, o que leva a um comprimento diagonal de três metros, assim o raio de luz teve que percorrer seis metros (para cima e para baixo) entre as batidas. E como, de acordo com Einstein, a velocidade da luz é constante para qualquer observador, para Bob, o tempo entre as batidas deve ser mais longo, porque o raio de luz viaja com a mesma velocidade mas tem que percorrer uma distância maior. A percepção do tempo de Bob entre os sinais do relógio é fácil de calcular:

$$\text{Tempo}_{\text{Bob}} = \frac{\text{distância}}{\text{velocidade}} = \frac{6,0 \text{ m}}{3 \times 10^8 \text{ m/s}} = 2,0 \times 10^{-8} \text{ s}$$

É nesse ponto que a realidade do tempo começa a parecer estranhíssima e um tanto perturbadora. Alice e Bob se encontram para comparar suas anotações. Bob diz que viu o relógio-espelho de Alice pulsando uma vez a cada  $2 \times 10^{-8}$  s, enquanto Alice afirma que seu relógio estava pulsando uma vez a cada  $1,2 \times 10^{-8}$  s. Em relação a Alice, o seu relógio está funcionando perfeitamente. Alice e Bob podiam estar olhando para o mesmo relógio, mas eles percebiam a contagem do tempo acontecendo a taxas diferentes.



**Figura 22** O cenário seguinte demonstra uma das principais consequências da teoria da relatividade especial de Einstein. Alice encontra-se dentro de seu vagão de trem com seu relógio-espelho, que “bate” com regularidade à medida que uma pulsação de luz é refletida entre dois espelhos. O diagrama (a) mostra a situação da perspectiva de Alice. O vagão está se movendo a 80% da velocidade da luz, mas o relógio não se move em relação a Alice, assim ela o vê funcionar de modo normal, à mesma taxa de sempre.

O diagrama (b) mostra a mesma situação (Alice e seu relógio) da perspectiva de Bob. O vagão está se movendo a 80% da velocidade da luz, assim Bob vê o pulso de luz seguir uma trajetória diagonal. E, como a velocidade da luz é constante para todos os observadores, Bob percebe que leva mais tempo para o pulso de luz percorrer a trajetória diagonal mais longa. Assim, ele pensa que o relógio de Alice está funcionando mais lentamente do que na percepção de Alice.

Einstein criou uma fórmula que descreve como o tempo muda para Bob em relação a Alice sob cada circunstância:

$$\text{Tempo}_{\text{Bob}} = \text{Tempo}_{\text{Alice}} \times \frac{1}{\sqrt{(1 - v_A^2/c^2)}}$$

Esta diz que os intervalos de tempo observados por Bob são diferentes dos observados por Alice, dependendo da velocidade de Alice ( $v_A$ ) relativa a Bob e a velocidade da luz ( $c$ ). Se inserirmos os números apropriados no caso descrito acima, então poderemos ver como a fórmula funciona.

$$\text{Tempo}_{\text{Bob}} = 1,2 \times 10^{-8} \text{ s} \times \frac{1}{\sqrt{(1 - (0,8c)^2/c^2)}}$$

$$\text{Tempo}_{\text{Bob}} = 1,2 \times 10^{-8} \text{ s} \times \frac{1}{\sqrt{(1 - 0,64)}}$$

$$\text{Tempo}_{\text{Bob}} = 2,0 \times 10^{-8} \text{ s}$$

Einstein certa vez brincou dizendo: “Coloque sua mão em uma chapa quente durante um minuto e vai parecer uma hora. Sente ao lado de uma linda moça durante uma hora e vai parecer um minuto. Isso é relatividade”. Mas a teoria da relatividade especial não era brincadeira. As fórmulas matemáticas de Einstein descreviam de modo preciso como qualquer observador perceberia genuinamente o atraso na passagem do tempo olhando para um relógio em movimento, um fenômeno conhecido como *dilatação do tempo*. Isso parece tão absurdo que levanta imediatamente quatro questões:

#### 1. Por que nunca notamos esse efeito?

A magnitude da dilatação do tempo depende da velocidade do relógio ou objeto em questão comparada com a velocidade da luz. No exemplo, a dilatação do tempo é significativa porque o vagão de Alice se desloca a 80% da velocidade da luz, ou seja, 240.000.000 m/s. Contudo, se o vagão estivesse viajando a uma velocidade mais razoável de 100 m/s (360 km/h), então a



percepção de Bob do relógio de Alice seria quase igual à percepção dela. Colocando os números correspondentes na equação de Einstein mostraria que a diferença na percepção do tempo pelo casal seria de uma parte em 1 trilhão. Em outras palavras, é impossível para os seres humanos detectarem os efeitos da dilatação do tempo no dia-a-dia.

## 2. *Essa diferença é real?*

Sim, é bem real. Existem muitas peças de equipamentos sofisticados, de alta tecnologia, que precisam levar em conta o efeito da dilatação do tempo para funcionarem adequadamente. O Sistema de Posicionamento Global (GPS), que depende de satélites para determinar localizações por meio de aparelhos como os sistemas de navegação dos carros, só funciona com precisão porque leva em consideração os efeitos da relatividade especial. Tais efeitos são significativos porque os satélites GPS viajam a velocidades muito altas e usam cronômetros de alta precisão.

## 3. *A teoria da relatividade especial de Einstein se aplica apenas a relógios que dependem de raios de luz?*

A teoria se aplica a todos os relógios e, de fato, a todos os fenômenos. Isso acontece porque a luz realmente determina as interações que acontecem em nível atômico. Portanto, todas as interações atômicas que acontecem no vagão se retardam do ponto de vista do Bob. Ele não pode perceber essas interações atômicas individuais, mas pode ver o efeito combinado desse retardamento atômico. Além de ver o relógio-espelho de Alice piscando mais lentamente, Bob a veria acenar mais lentamente enquanto passava, ela piscaria e pensaria mais lentamente, e até suas batidas de coração se retardariam. Tudo seria afetado de modo semelhante pelo mesmo grau de dilatação temporal.

## 4. *Por que Alice não pode usar o atraso de seu relógio e a lentidão de seus movimentos para provar que está se movendo?*

Todos os efeitos peculiares descritos acima são observados por Bob de fora do trem em movimento. No que concerne a Alice, tudo dentro do trem está perfeitamente normal, porque nem o seu relógio nem os outros objetos no vagão estão se movendo em relação a ela. Movimento relativo zero significa

dilatação temporal zero. Não devemos nos surpreender que não haja dilatação de tempo, porque, se Alice notasse qualquer mudança ao seu redor, como resultado do movimento do vagão, isso contrariaria o princípio da relatividade de Galileu. Entretanto, se Alice olhasse para Bob enquanto passava zunindo por ele, a ela pareceria que Bob e seu ambiente é que estavam sofrendo uma dilatação temporal, porque ele estaria se movendo em relação a ela.

A teoria da relatividade especial atinge outros aspectos da física de modo igualmente atordoante. Einstein mostrou que, à medida que Alice se aproxima, Bob percebe que ela se contrai na direção de seus movimentos. Em outras palavras, se Alice tem dois metros de altura e 25 centímetros da frente para trás, e está olhando para a parte dianteira do trem enquanto este se aproxima de Bob, então ele a veria com dois metros de altura mas com apenas 15 centímetros de espessura. Ela pareceria mais magra. Isso não é nada tão trivial quanto uma ilusão baseada na perspectiva, mas é de fato uma realidade na visão de Bob da distância e do espaço. É uma consequência do mesmo tipo de raciocínio que faz Bob observar o relógio de Alice funcionando mais lentamente.

Assim, além de investir contra as noções tradicionais de tempo, a relatividade especial forçava os físicos a reconsiderarem suas noções arraigadas de espaço. Em lugar de tempo e espaço serem constantes e universais, eram flexíveis e pessoais. Não surpreende que o próprio Einstein, à medida que desenvolvia sua teoria, às vezes achasse difícil confiar em sua própria lógica e conclusões. “Esse argumento é sedutor e divertido”, disse ele, “mas, pelo que sei, o Senhor pode estar rindo de mim e me fazendo andar em círculos”.

Apesar disso, Einstein superou suas dúvidas e continuou a seguir a lógica de suas equações. Depois que sua pesquisa foi publicada, os estudiosos viram-se forçados a reconhecer que um solitário funcionário de patentes tinha feito uma das descobertas mais importantes da história da física. Max Planck, o pai da teoria quântica, disse a respeito de Einstein que “se [a relatividade] se mostrar correta, e eu espero que seja, ele será considerado o Copérnico do século XX”.

As previsões de Einstein da dilatação do tempo e da contração do comprimento foram todas confirmadas por experiências no devido tempo. Só a

sua teoria da relatividade especial teria sido suficiente para fazer dele um dos físicos mais brilhantes do século XX, provocando uma revisão radical da física vitoriana. Mas a estatura de Einstein o levaria a alturas ainda maiores.

Logo depois de publicar seus trabalhos, em 1905, ele começou a trabalhar num programa de pesquisas ainda mais ambicioso. Para colocá-lo no devido contexto, Einstein certa vez chamou sua teoria da relatividade especial uma “brincadeira de criança” comparada com o que viria depois. As recompensas, contudo, valeriam o esforço. Sua próxima grande descoberta revelaria como o universo se comporta em grande escala e daria aos cosmólogos as ferramentas de que precisavam para abordar as questões mais fundamentais imagináveis.

## A batalha da gravidade: Newton versus Einstein

As idéias de Einstein eram tão iconoclásticas que levou tempo para que a comunidade científica acolhesse esse funcionário público em seu meio. Embora ele tivesse publicado sua teoria da relatividade especial em 1905, foi só em 1908 que recebeu seu primeiro posto acadêmico na Universidade de Berna. Entre 1905 e 1908, Einstein continuou a trabalhar no escritório de patentes em Berna, onde foi promovido a “especialista técnico de segunda classe” e ganhou tempo para prosseguir com seu esforço de estender o poder de sua teoria da relatividade.

A teoria da relatividade especial é rotulada de *especial* porque se aplica apenas a situações especiais, aquelas nas quais os objetos se movem a uma velocidade constante. Em outras palavras, ela poderia lidar com Bob observando o trem de Alice em deslocamento a uma velocidade fixa em um trilho reto, mas não com um trem que estivesse acelerado ou perdendo velocidade. Conseqüentemente, Einstein tentou reformular sua teoria de modo que ela pudesse lidar com situações envolvendo aceleração e deceleração. Essa grande extensão da relatividade especial logo se tornaria conhecida como *relatividade geral*, porque se aplicaria a situações mais generalizadas.

Quando Einstein fez o seu primeiro grande avanço para a criação da relatividade geral em 1907, ele o classificou como “o dia mais feliz da minha

vida”. O que se seguiu, contudo, foram oito anos de tormento. Ele contou a um amigo como a sua obsessão com a relatividade geral o estava forçando a negligenciar todos os outros aspectos de sua vida: “Eu não tenho tempo para escrever porque estou ocupado com coisas verdadeiramente grandes. Dia e noite eu torturo meu cérebro num esforço para penetrar mais profundamente nas coisas que descobri nos dois últimos anos e que representam um avanço sem precedentes nos problemas fundamentais da física”.

Ao falar em “coisas verdadeiramente grandes” e “problemas fundamentais”, Einstein se referia ao fato de que a teoria da relatividade geral parecia estar conduzindo-o a uma teoria inteiramente nova da gravidade. Se Einstein estava certo, então os físicos seriam forçados a questionar o trabalho de Isaac Newton, um dos ícones da física.

Newton nasceu em circunstâncias trágicas no dia de Natal de 1642, seu pai tendo morrido três meses antes. Enquanto Isaac ainda era criança, sua mãe casou de novo com um reitor de 63 anos de idade, Barnabas Smith, que se recusou a aceitar Isaac em sua casa. Coube aos avós de Isaac a tarefa de criá-lo, e a cada ano que passava ele desenvolvia um ódio crescente em relação à mãe e ao padrasto, que o tinham abandonado. De fato, quando estudante universitário, ele fez uma lista dos pecados da sua infância, que incluía a admissão de “ameaçar meu pai e minha mãe Smith de queimá-los com sua casa”.

Não surpreende que Newton se tornasse um homem amargurado, isolado e às vezes cruel. Quando foi nomeado diretor da Casa da Moeda, em 1696, ele implementou um duro regime de caça aos falsificadores, cuidando para que os condenados fossem enforcados, arrastados e esquartejados. A falsificação da moeda levava a Grã-Bretanha à beira do colapso econômico, e Newton achava que suas punições eram necessárias. Além de empregar a brutalidade, Newton usou seu cérebro para salvar a economia nacional. Uma de suas inovações mais importantes na Casa da Moeda foi a introdução de bordas serrilhadas nas moedas para combater a prática do desbaste, pela qual os falsificadores cortavam as beiradas das moedas e usavam as lascas para fazer novas moedas.

Em reconhecimento pela contribuição de Newton, a moeda britânica de duas libras, emitida em 1997, tinha a frase DE PÉ NOS OMBROS DE GIGANTES em torno de sua borda serrilhada. Essas palavras foram extraídas de uma

carta que Newton enviou para seu colega cientista Robert Hooke, na qual escreveu: “Se pude enxergar mais longe foi porque fiquei de pé sobre os ombros de gigantes”. Isso parece uma declaração de modéstia, uma admissão de que as próprias idéias de Newton tinham sido erguidas sobre as de seus ilustres predecessores, como Galileu e Pitágoras. Mas na verdade a frase era uma referência velada e ofensiva à corcunda de Hooke e seu andar curvado. Em outras palavras, Newton estava sugerindo que Hooke não era nem um gigante fisicamente, nem, por implicação, um gigante intelectual.

Contudo, apesar de seus defeitos como pessoa, Newton fez uma contribuição sem paralelo para a ciência do século XVII. Ele estabeleceu os fundamentos para uma nova era científica com uma ofensiva de pesquisas que durou pouco mais de 18 meses, culminando em 1666, que hoje é conhecido como o *annus mirabilis* (ano milagroso) de Newton. O termo era originalmente o título de um poema de John Dryden sobre outros acontecimentos mais sensacionais que ocorreram em 1666, ou seja, a sobrevivência de Londres depois do Grande Incêndio e a vitória da frota inglesa sobre a dinamarquesa. Os cientistas, todavia, consideram que as descobertas de Newton foram os verdadeiros milagres de 1666. Seu *annus mirabilis* incluiu grandes avanços em cálculo, óptica e, o que é mais conhecido, na gravidade.

Em essência, a lei da gravidade de Newton afirma que cada objeto no universo atrai outro objeto. Mais exatamente Newton definiu a força de atração entre dois objetos quaisquer como

$$F = \frac{G \times m_1 \times m_2}{r^2}$$

A força ( $F$ ) entre dois objetos depende das massas dos objetos ( $m_1$  e  $m_2$ ) — quanto maior a massa, maior a força. A força também é inversamente proporcional ao quadrado da distância entre os objetos ( $r^2$ ), o que significa que a força fica menor à medida que os objetos se afastam. A constante gravitacional ( $G$ ) é sempre igual a  $6,67 \times 10^{-11} \text{ Nm}^2\text{kg}^{-2}$ , e reflete a força da gravidade comparada com outras forças, como o magnetismo.

O poder dessa fórmula é que ela abrange tudo que Copérnico, Kepler e Galileu tinham tentado explicar sobre o Sistema Solar. Por exemplo, o fato

de uma maçã cair em direção ao solo não significa que esta queira chegar ao centro do universo, mas simplesmente que ambas, a Terra e a maçã, têm massa, e assim são atraídas naturalmente uma para a outra pela força da gravidade. A maçã acelera em direção à Terra, e ao mesmo tempo até mesmo a Terra acelera em direção à maçã, embora o efeito sobre a Terra seja imperceptível, porque esta é muito mais maciça do que a maçã. De modo semelhante, a equação da gravidade de Newton pode ser usada para explicar como a Terra orbita o Sol, porque ambos os corpos têm massa e portanto existe uma atração mútua entre eles. Novamente, a Terra orbita o Sol e não vice-versa, porque a Terra é muito menos maciça do que o Sol. De fato, a fórmula da gravidade de Newton pode até mesmo ser usada para prever que luas e planetas vão percorrer trajetórias elípticas, o que é exatamente o que Kepler demonstrou depois de analisar as observações de Tycho Brahe.

Durante séculos depois de sua morte, a lei da gravitação de Newton reinou sobre o cosmos. Os cientistas presumiam que o problema da gravidade tinha sido resolvido e usavam a fórmula de Newton para explicar tudo, do vôo de uma flecha à trajetória de um cometa. O próprio Newton, entretanto, suspeitava de que seu entendimento do universo estava incompleto: “Eu não sei como o mundo me vê, mas para mim eu tenho sido apenas um menino brincando na praia, e me divertindo aqui e ali ao encontrar uma pedra mais polida ou uma concha mais bonita do que as outras, enquanto o grande oceano da verdade permanece desconhecido diante de mim”.

E foi Albert Einstein quem primeiro percebeu que poderia existir mais coisas na gravidade do que Newton imaginara. Depois do seu próprio *annus mirabilis* em 1905, quando Einstein publicou vários trabalhos históricos, Einstein concentrou-se em ampliar sua teoria da relatividade especial para uma teoria geral. Isso envolvia uma interpretação radicalmente diferente da gravidade baseada em uma visão diferente de como os planetas, as luas e as maçãs se atraem uns aos outros.

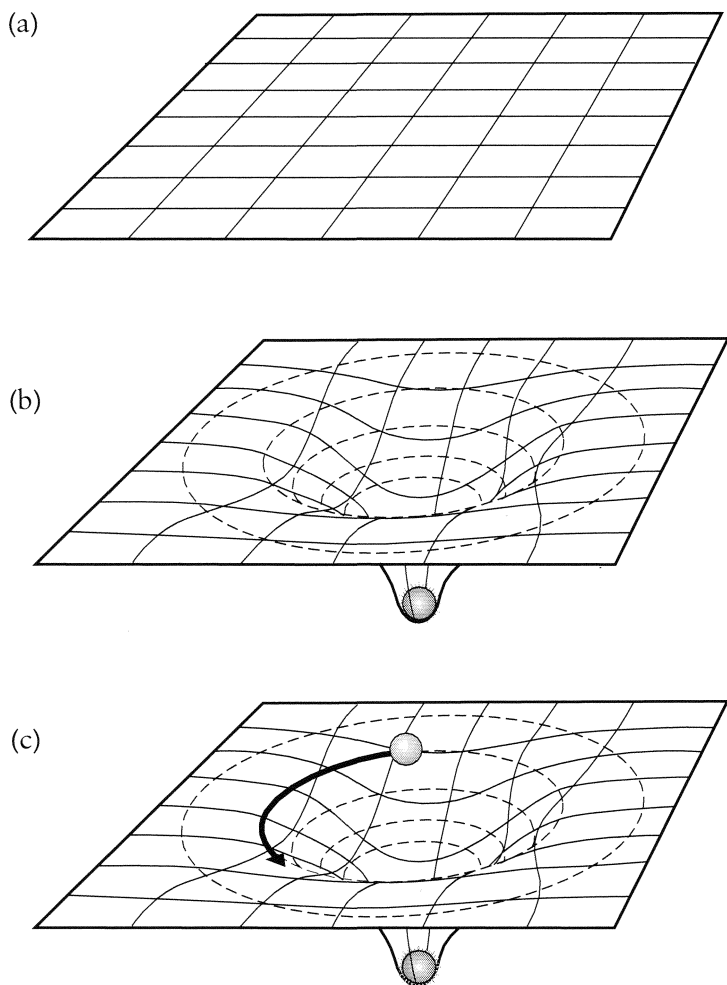
No cerne da nova abordagem de Einstein estava a descoberta de que a distância e o tempo são flexíveis, o que era uma consequência da sua teoria da relatividade especial. Lembrem-se de que Bob vê um relógio andando mais devagar e Alice ficando mais magra à medida que se movem em sua direção. Assim, o tempo é flexível, assim como as três dimensões do espaço

(largura, altura e profundidade). Além disso, as flexibilidades tanto do espaço como do tempo são indissociáveis, o que levou Einstein a considerar uma única entidade flexível conhecida como *espaço-tempo*. E esse espaço-tempo flexível se revelou a causa subjacente à gravidade. Essa progressão de estranha flexibilidade é sem dúvida atordoante, mas o parágrafo seguinte fornece uma maneira razoavelmente fácil de visualizar a filosofia de Einstein para a gravidade.

O espaço-tempo é formado por quatro dimensões, três de espaço e uma de tempo, o que é inimaginável para a maioria dos mortais, assim, geralmente é mais fácil considerar apenas duas dimensões de espaço, como mostrado na figura 23. Felizmente esse espaço-tempo rudimentar ilustra muitas das características-chave do autêntico espaço-tempo, de modo que é uma simplificação conveniente. A figura 23(a) mostra que o espaço (de fato, o espaço-tempo) é como um pedaço de tecido esticado, e a grade de linhas ajuda a mostrar que, se nada estiver ocupando o espaço, então seu “tecido” é plano e imperturbável. A figura 23(b) mostra como o espaço bidimensional muda bastante se um objeto for colocado sobre ele. Este segundo diagrama poderia representar o espaço sendo torcido por um Sol maciço, como uma cama elástica curvando-se sob o peso de uma bola de boliche.

De fato, a analogia da cama elástica pode ser estendida. Se uma bola de boliche representa o Sol, então uma bola de tênis representando a Terra pode ser lançada em órbita ao redor dele, como mostrado na figura 23(c). A bola de tênis na verdade cria sua própria depressão na cama elástica e a carrega enquanto circula. Se quiséssemos um modelo da Lua, então poderíamos tentar rolar uma bolinha de gude na depressão causada pela bola de tênis fazendo-a girar ao seu redor enquanto a bola de tênis e sua concavidade correriam em torno do fosso causado pela bola de boliche.

Na prática, qualquer tentativa de modelar um sistema complicado em uma cama elástica logo desmorona devido à fricção do tecido que agita o movimento natural dos objetos. Não obstante, Einstein afirmava que exatamente esse tipo de efeito de cama elástica estava acontecendo no tecido do espaço-tempo. De acordo com Einstein, sempre que os físicos e astrônomos testemunhavam fenômenos envolvendo a força da atração gravitacional, eles estavam realmente vendo objetos reagindo à curvatura do espaço-tempo.



**Figura 23** Estes diagramas são representações bidimensionais do espaço-tempo quadridimensional, ignorando uma dimensão de tempo e uma de espaço. O diagrama (a) mostra uma tela chata, lisa, não perturbada, representando o espaço vazio. Se um planeta passasse por este espaço, ele seguiria em uma linha reta.

O diagrama (b) mostra o espaço torcido por um objeto como o Sol. A profundidade da depressão depende da massa do Sol.

O diagrama (c) mostra um planeta orbitando a depressão causada pelo Sol. O planeta provoca sua própria pequena depressão no espaço, que é demasiado pequena para ser representada neste diagrama porque o planeta é relativamente leve.



Por exemplo, Newton diria que uma maçã caiu no solo porque existia uma força de atração gravitacional mútua, mas Einstein agora sentia ter um entendimento profundo do que provocava esta atração: a maçã simplesmente caía no solo porque estava caindo no fosso profundo no espaço-tempo provocado pela massa da Terra.

A presença de objetos no espaço-tempo dá origem a um relacionamento de mão dupla. A forma do espaço-tempo influencia o movimento dos objetos, e, ao mesmo tempo esses mesmos objetos influenciam a forma do espaço-tempo. Em outras palavras, as concavidades no espaço-tempo que guiam o Sol e os planetas são causadas pelo mesmo Sol e pelos planetas. John Wheeler, um dos principais relativistas gerais do século XX, resumiria a teoria com o dito: “A matéria diz ao espaço como se curvar; e o espaço diz à matéria como se mover”. Embora Wheeler tivesse sacrificado a precisão pela concisão (“espaço” deveria ser “espaço-tempo”), ainda é um bom resumo da teoria de Einstein.

Essa noção de espaço-tempo flexível pode parecer maluca, mas Einstein estava convencido de que era certa. De acordo com seu próprio conjunto de critérios estéticos, o elo entre o espaço-tempo flexível e a gravidade tinha de ser verdadeiro, ou, como Einstein resumiu: “Quando estou julgando uma teoria, eu pergunto a mim mesmo se, caso eu fosse Deus, teria feito o mundo desse modo”. Entretanto, Einstein precisava convencer o resto do mundo de que estava certo, tinha que desenvolver uma fórmula que englobasse sua teoria. Seu maior desafio era transformar uma noção um tanto vaga de espaço-tempo e gravidade descrita acima em uma teoria formal da relatividade geral, colocada em uma rigorosa estrutura matemática.

Einstein levaria oito anos de árdua pesquisa teórica antes que pudesse fundamentar sua intuição com um argumento matemático detalhado e lógico. Durante esse período, enfrentou grandes obstáculos e teve que suportar períodos em que seus cálculos pareciam se desfazer. O esforço intelectual levaria Einstein à beira de um colapso nervoso. Seu estado mental e o nível de sua frustração são revelados nos breves comentários que ele fez em cartas para os amigos durante esses anos. Ele implorou a Marcel Grossman: “Você precisa me ajudar ou eu vou ficar maluco!”. A Paul Ehrenfest ele disse que trabalhar na relatividade era como suportar “uma chuva de fogo e enxofre”.

Em outra carta, ele se afligia por “novamente ter perpetrado alguma coisa na teoria da gravitação que me arrisca a ser confinado num hospício”.

A coragem necessária para essa aventura em território intelectual não mapeado não deve ser subestimada. Em 1913, Max Planck aconselhou Einstein a não trabalhar na relatividade geral. “Como um velho amigo eu devo aconselhá-lo contra isso, primeiro porque não terá sucesso e, se tiver, ninguém acreditará em você.”

Einstein perseverou, suportou a provação e finalmente completou sua teoria da relatividade geral em 1915. Como Newton, Einstein por fim desenvolveu uma fórmula matemática para explicar e calcular a força da gravidade em todas as situações concebíveis, mas a fórmula de Einstein era bem diferente e montada sobre uma premissa completamente independente — a existência do espaço-tempo flexível.

A teoria da gravidade de Newton fora suficiente para a física dos dois séculos anteriores, assim, por que os físicos deveriam abandoná-la subitamente em troca da nova teoria de Einstein? A teoria de Newton podia prever com sucesso o comportamento de tudo, de maçãs a planetas, de balas de canhão a gotas de chuva, assim, para que servia a teoria de Einstein?

A resposta se encontra na natureza do avanço científico. Os cientistas tentam criar teorias para explicar e prever os fenômenos naturais de modo tão preciso quanto possível. Uma teoria pode funcionar satisfatoriamente durante alguns anos, décadas ou séculos, mas os cientistas acabam desenvolvendo e adotando uma teoria melhor, uma que seja mais precisa, que funcione em uma variedade maior de situações, ou que explique fenômenos antes inexplicados. Foi o que aconteceu com os antigos astrônomos e seu entendimento da posição da Terra no cosmos. Inicialmente os astrônomos acreditavam que o Sol orbitava uma Terra estacionária, e graças aos epíclis e deferentes de Ptolomeu, esta era uma teoria razoavelmente bem-sucedida. De fato, os astrônomos a utilizavam para prever os movimentos dos planetas com uma precisão razoável. Contudo, a teoria centrada na Terra acabou sendo substituída por uma teoria do universo centrado no Sol, porque esta nova teoria, baseada nas órbitas elípticas de Kepler, era mais precisa e podia explicar as novas observações telescópicas, como as fases de Vênus. Foi uma transição longa e difícil de uma teoria para a ou-

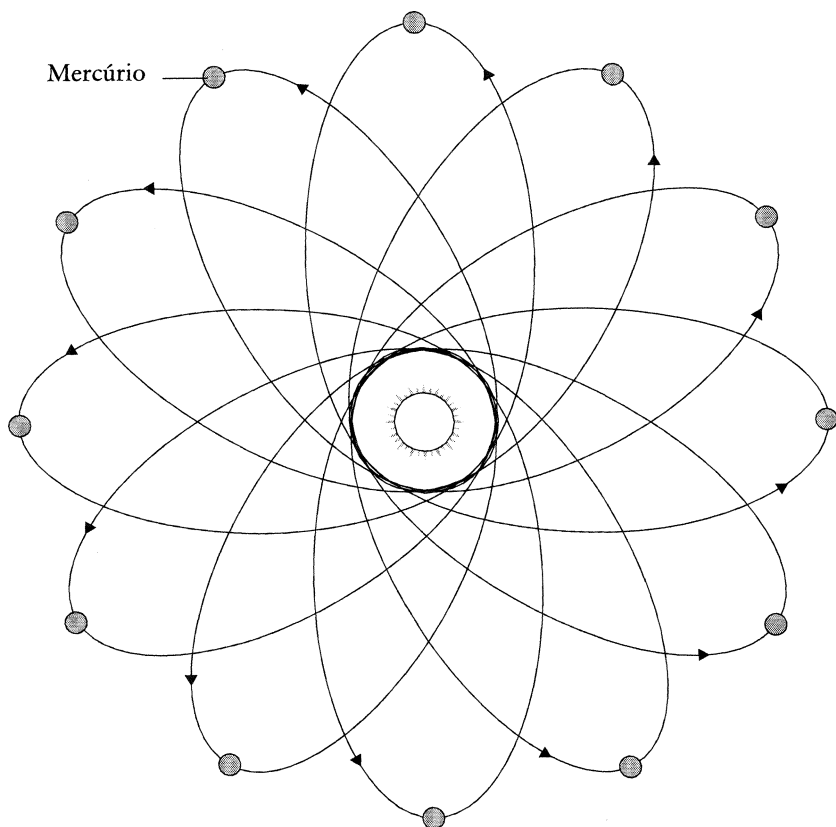
tra, mas, uma vez que a teoria centrada no Sol se mostrara correta, não havia caminho de volta.

Do mesmo modo, Einstein acreditava estar fornecendo à física uma teoria melhor da gravidade, mais precisa e mais próxima da realidade. Em particular, Einstein suspeitava que a teoria da gravidade de Newton poderia falhar em determinadas circunstâncias enquanto sua própria teoria seria bem-sucedida em todas as situações. De acordo com Einstein, a teoria de Newton daria resultados incorretos ao prever fenômenos em situações em que a força da gravidade seria extremamente forte. Portanto, de modo a provar que estava certo, Einstein tinha apenas que encontrar um desses cenários extremos e testar ambas, a sua teoria da gravidade e a de Newton. A teoria que imitasse a realidade de modo mais preciso venceria a competição e seria a verdadeira teoria da gravidade.

O problema para Einstein é que todos os cenários terrestres envolviam o mesmo nível de gravidade medíocre e, nessas condições, ambas as teorias eram igualmente bem-sucedidas e davam resultados iguais. Conseqüentemente, ele percebeu que teria que se voltar para além da Terra, para o espaço, de modo a encontrar um ambiente de gravidade extrema que pudesse expor as falhas na teoria de Newton. Em especial, ele sabia que o Sol tinha um tremendo campo gravitacional e que o planeta mais próximo do Sol, Mercúrio, sentiria os efeitos dessa alta atração gravitacional. Ele se perguntava se a atração do Sol era forte o bastante para fazer Mercúrio se comportar de um modo que fosse incompatível com a teoria de Newton e de acordo com a sua. Em 18 de novembro de 1915, Einstein encontrou o teste de que precisava — um caso de comportamento planetário que intrigava os astrônomos havia décadas.

Em 1859, o astrônomo francês Urbain Le Verrier tinha analisado uma anomalia na órbita de Mercúrio. O planeta tinha uma órbita elíptica, mas, em vez de ser fixa, a elipse girava em torno do Sol, como mostrado na figura 24. A órbita elíptica gira em torno do Sol, traçando um clássico padrão espirográfico. O movimento é muito pequeno, chegando a 574 segundos de arco por século, e leva 1 milhão de órbitas, ou mais de 200 mil anos, para Mercúrio percorrer esse ciclo e voltar a sua orientação orbital original.

Os astrônomos tinham presumido que o comportamento peculiar de



**Figura 24** Os astrônomos do século XIX ficaram intrigados com um desvio da órbita de Mercúrio. Este é um diagrama exagerado, já que a órbita de Mercúrio é menos elíptica (ou seja, mais circular) e o Sol está mais perto do centro da órbita. E, o que é mais importante, a torção da órbita foi exagerada. Na realidade, cada órbita avança apenas  $0,00038^\circ$  em relação à anterior. Quando lidam com ângulos muito pequenos, os cientistas usam minutos e segundos em lugar de graus:

$$1 \text{ minuto} = 1/60^\circ$$

$$1 \text{ segundo} = 1/60 \text{ minuto} = 1/3.600^\circ$$

Assim, cada órbita de Mercúrio avança aproximadamente  $0,00038^\circ$  ou  $0,023$  minutos, ou  $1.383$  segundos com relação à órbita anterior. Mercúrio leva 88 dias para orbitar o Sol, assim, depois de um século na Terra, Mercúrio completa 415 órbitas e sua órbita avançou de  $415 \times 1.383 = 574$  segundos.

Mercúrio era causado pela atração gravitacional dos outros planetas do Sistema Solar dando puxões em sua órbita. Mas, quando usou a fórmula da gravidade de Newton, Le Verrier descobriu que o efeito combinado dos outros planetas explicava apenas 531 dos 574 segundos de arco da torção que acontecia a cada século. Isso significava que 43 segundos de arco ficavam inexplicados. De acordo com alguns estudiosos, devia haver uma influência extra, invisível na órbita de Mercúrio, como por exemplo um cinturão interior de asteróides ou uma lua desconhecida de Mercúrio. Alguns até mesmo sugeriram a existência de um planeta ainda não descoberto, chamado Vulcano, que ficaria entre Mercúrio e o Sol. Em outras palavras, os astrônomos presumiram que a fórmula da gravidade de Newton estava correta e que o problema devia estar na incapacidade deles de considerar todos os fatores envolvidos. Assim que tivessem encontrado o cinturão de asteróides desconhecido, a lua ou o planeta, eles esperavam refazer os cálculos e obter a resposta certa de 574 segundos de arco.

Einstein, por sua vez, tinha certeza de que não existia nenhum planeta, lua ou cinturão de asteróides desconhecido, e que o problema estava na fórmula da gravidade de Newton. A teoria de Newton funcionava perfeitamente em termos de descrever o que acontecia na gravidade mais fraca da Terra, mas Einstein estava convencido de que as condições gravitacionais extremas encontradas nas proximidades do Sol estavam fora da área de segurança de Newton. Esta era a arena perfeita para a competição entre as duas teorias rivais e Einstein esperava que sua própria teoria explicasse com precisão a mudança na órbita de Mercúrio.

Fez os cálculos necessários usando sua própria fórmula e o resultado foram 574 segundos de arco, o que estava de acordo com as observações. “Por alguns dias eu fiquei fora de mim com a alegria e a excitação”, escreveu.

Por azar, a comunidade científica não estava inteiramente convencida com os cálculos de Einstein. As instituições científicas são inerentemente conservadoras, como já vimos, em parte por motivos práticos e em parte por razões emocionais. Se uma nova teoria derrubar uma antiga, a velha teoria tem que ser abandonada, e o que resta da estrutura científica tem que se conciliar com a nova teoria. Tal comoção só se justifica se a comunidade

estiver plenamente convencida de que a nova idéia de fato funciona. Em outras palavras, o ônus da prova sempre fica com os advogados da nova teoria. A barreira emocional contra a aceitação é igualmente alta. Os velhos cientistas, que tinham passado suas vidas acreditando em Newton, estavam naturalmente relutantes em descartar aquilo que conheciam e em que confiavam em troca de alguma teoria recém-chegada. Mark Twain fez uma observação perspicaz ao dizer: “Um cientista jamais mostra afeição por uma teoria que ele mesmo não tenha apresentado”.

Não surpreende que a comunidade científica se agarrasse à visão de que a fórmula de Newton estava certa e de que os astrônomos cedo ou tarde descobririam algum novo corpo celeste que explicaria o desvio orbital de Mercúrio. Quando uma observação mais precisa não revelou nenhum sinal de um cinturão de asteróides interior, ou de uma lua ou planeta, os astrônomos então ofereceram outra solução para salvar a agonizante teoria de Newton. Fazendo uma pequena mudança na equação de Newton de  $r^2$  para  $r^{2,00000016}$ , eles poderiam de certa forma salvar a abordagem clássica e explicar a órbita de Mercúrio:

$$F = \frac{G \times m_1 \times m_2}{r^{2,00000016}}$$

Isso contudo era apenas um truque matemático. Sem respaldo na física, tratava-se de um esforço desesperado para salvar a teoria da gravidade de Newton. De fato, tais manipulações eram um sinal do tipo de lógica desligada da realidade que antes levava Ptolomeu a acrescentar mais círculos à visão equivocada do universo centrado na Terra e cheio de epiciclos.

Se ia superar esse conservadorismo, vencer seus críticos e depor Newton, Einstein tinha que reunir mais provas a favor de sua teoria. Precisava encontrar outro fenômeno que pudesse ser explicado apenas pela sua teoria e não pela de Newton. Alguma coisa tão extraordinária que fornecesse uma prova irrefutável e inequívoca a favor da gravidade de Einstein, da relatividade geral e do espaço-tempo.

## **A parceria decisiva**

### **Teoria e experiência**

Se uma nova teoria científica quer ser levada a sério, precisa passar por dois testes críticos. Primeiro, precisa produzir resultados teóricos que correspondam a todas as observações existentes da realidade. A teoria gravitacional de Einstein tinha passado por esse teste, porque entre outras coisas tinha indicado exatamente a quantidade certa de desvio na órbita de Mercúrio. O segundo teste, que é ainda mais rígido, é de que a teoria deve prever os resultados de observações que ainda não foram feitas. Quando os cientistas fizerem essas observações, se elas corresponderem às previsões teóricas, então esta será uma evidência determinante de que a teoria é correta. Quando Kepler e Galileu afirmaram que a Terra orbitava o Sol, eles conseguiram passar rapidamente no primeiro teste, que era produzir resultados teóricos que correspondessem aos movimentos conhecidos dos planetas. Contudo, o segundo teste só foi vencido quando as observações de Galileu das fases de Vênus corresponderam à previsão teórica feita por Copérnico há décadas.

O motivo pelo qual o primeiro teste sozinho não é suficiente para convencer os incrédulos é o medo de que a teoria tenha sido ajustada para gerar o resultado certo. Contudo, é impossível ajustar uma teoria para que ela concorde com o resultado de uma observação que ainda não foi feita. Imagine que você está pensando em investir seu dinheiro com Bob ou com Alice. Ambos afirmam ter sistemas perfeitos para jogar no mercado de ações. Bob tenta convencê-lo de que a sua teoria é melhor mostrando as cotações do mercado de ontem, e então revela como a sua teoria teria previsto aquelas cotações com perfeição. Alice, por outro lado, mostra suas previsões para o mercado amanhã. E 24 horas depois fica provado que ela estava certa. Com quem você vai investir o seu dinheiro, com Bob ou com Alice? Existe, é claro, a suspeita de que Bob possa ter ajustado sua teoria para corresponder aos resultados do dia anterior, depois de o pregão terminar. Assim sua teoria não é inteiramente convincente. Mas a teoria de Alice, ao prever o comportamento do mercado de ações com antecedência, parece funcionar realmente.

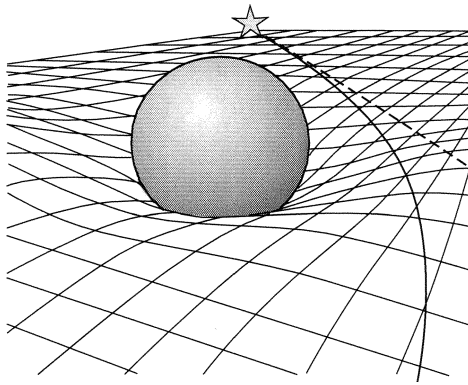
De modo semelhante, se Einstein ia provar que estava certo e que Newton estava errado, ele teria que usar sua teoria para fazer uma previsão firme sobre um fenômeno ainda não observado. É claro que este fenômeno teria que acontecer num ambiente de gravidade extrema, de outro modo as previsões newtonianas e einsteinianas coincidiriam e não haveria vencedor.

No final, o teste decisivo seria um fenômeno envolvendo o comportamento da luz. Antes mesmo de aplicar sua teoria a Mercúrio — de fato, mesmo antes de terminar o desenvolvimento de sua teoria da relatividade geral —, Einstein tinha começado a explorar a interação entre a luz e a gravidade. De acordo com a sua formulação da gravidade no espaço-tempo, qualquer raio de luz que passasse por uma estrela ou um planeta maciço seria atraído pela força gravitacional em direção a essa estrela ou a esse planeta, e a luz seria levemente desviada de sua trajetória original. A teoria da gravidade de Newton também previa que objetos pesados poderiam curvar a luz, mas numa extensão menor. Conseqüentemente, se alguém pudesse medir o desvio da luz por um corpo celeste maciço, o resultado, se o desvio era pequeno ou muito pequeno, determinaria quem estava certo, Einstein ou Newton.

Já em 1912, Einstein começara uma colaboração com Erwin Freundlich sobre como fazer a medida crucial. Enquanto Einstein era físico teórico, Freundlich era um astrônomo profissional e portanto se encontrava em posição melhor para dizer como alguém poderia fazer observações que detectassem o desvio óptico previsto pela relatividade geral. Inicialmente, eles se perguntaram se Júpiter, o planeta mais denso do Sistema Solar, poderia ser grande o suficiente para curvar a luz de uma estrela distante, como mostrado na figura 25. Mas, quando Einstein fez os cálculos, usando sua fórmula, ficou claro que o desvio causado por Júpiter seria muito tênue para ser detectado, ainda que o planeta tenha trezentas vezes a massa da Terra. Einstein escreveu para Freundlich: “Se ao menos a natureza nos desse um planeta maior do que Júpiter!”

Em seguida eles se voltaram para o Sol, que é mil vezes mais denso do que Júpiter. Dessa vez os cálculos de Einstein mostraram que a atração gravitacional do Sol teria uma influência significativa sobre um raio de luz de uma estrela distante e que a curvatura da luz seria detectável. Por exem-





**Figura 25** Einstein estava interessado na possível curvatura da luz das estrelas por Júpiter, um planeta maciço o suficiente para produzir uma concavidade profunda no tecido do espaço-tempo. O diagrama mostra uma estrela distante emitindo um raio de luz que cruza o espaço. A trajetória reta mostra como a luz teria se deslocado através do espaço plano se Júpiter não estivesse presente. A trajetória curva mostra como a luz é desviada pela torção espacial de Júpiter. Infelizmente para Einstein, o desvio da luz estelar por Júpiter é muito pequeno para ser detectado.

plo, se a estrela estivesse por trás da borda do Sol, portanto fora da nossa linha de visão, nós não deveríamos vê-la da Terra, como mostrado na figura 26. Contudo, a imensa força gravitacional do Sol e a torção do espaço-tempo desviariam a luz da estrela na direção da Terra, tornando-a visível. A estrela, que ainda estaria atrás do Sol, pareceria estar bem ao seu lado. O desvio da posição real para a aparente seria muito pequeno, mas o suficiente para indicar quem estaria certo, porque a fórmula de Newton previa um desvio ainda menor que o da fórmula de Einstein.

Mas há um problema: uma estrela cuja luz fosse desviada pelo Sol de modo a aparecer bem na sua beirada seria impossível de ver devido ao tremendo brilho do Sol. De fato, a região em torno do Sol está sempre salpicada de estrelas, mas todas permanecem invisíveis porque seu brilho é desprezível comparado ao do Sol. Contudo, existe uma ocasião em que as estrelas além do Sol se revelam. Em 1913, Einstein escreveu para Freundlich sugerindo que eles procurassem pelos desvios estelares durante um eclipse total do Sol.

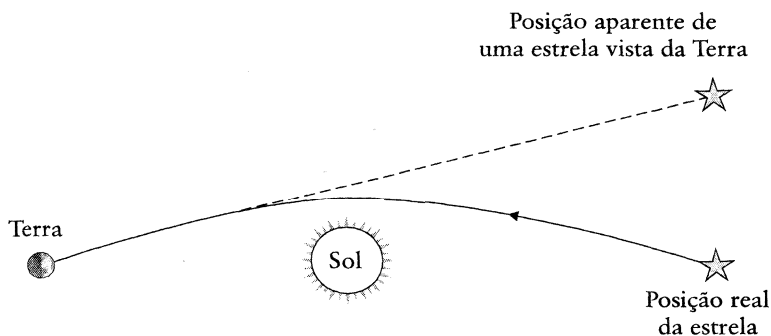


Figura 26 Einstein esperava que a curvatura da luz estelar pelo Sol pudesse ser usada para comprovar sua teoria da relatividade geral. A linha de mira entre a Terra e a estrela distante é bloqueada pelo Sol, mas a massa do Sol distorce o espaço-tempo e a luz estelar é desviada para seguir uma trajetória curva em direção à Terra. Nosso instinto nos diz que a luz viaja em linha reta, assim, da Terra, nós projetamos a trajetória da luz de volta ao longo da linha reta que ela deve ter percorrido e parece que a estrela mudou de posição. A teoria da gravidade de Einstein previa um desvio estelar aparente maior do que o previsto pela teoria da gravidade de Newton, assim, a medição do desvio indicaria qual teoria da gravidade era a correta.

Quando a Lua tapa o Sol durante um eclipse, o dia temporariamente se transforma em noite e as estrelas aparecem. O disco da Lua se encaixa sobre o do Sol tão perfeitamente que é possível identificar uma estrela a apenas uma fração de grau da borda do Sol — ou melhor, uma estrela cuja luz foi desviada de modo que ela *parece* estar uma fração de grau fora do disco solar.

Einstein esperava que Freundlich pudesse examinar fotografias de eclipses passados para encontrar as mudanças nas posições necessárias que provassem sua fórmula da gravidade, mas logo ficou claro que dados de segunda mão não seriam suficientes. A exposição e o enquadramento das fotos teriam que ser perfeitos para detectar pequenas mudanças nas posições das estrelas, e as fotografias de eclipses passados não correspondiam às expectativas.

Havia apenas uma opção. Freundlich teria que montar uma expedição para fotografar o próximo eclipse solar, que seria observável da Criméia em 21 de agosto de 1914. A reputação de Einstein dependia dessa observação,

por isso ele estava preparado para financiar a missão, se fosse necessário. Ficou tão obcecado com isso que ia jantar na casa de Freundlich, comia correndo e depois começava a escrever na toalha da mesa, checando seus cálculos com o parceiro para ter certeza de que não havia margem para erros. Mais tarde, a viúva de Freundlich lamentou ter lavado aquelas toalhas, já que elas teriam valido uma fortuna com os rabiscos de Einstein intactos.

Freundlich partiu de Berlim com destino à Criméia no dia 19 de julho. Sabemos agora que foi uma atitude imprudente, porque o arquiduque Francisco Ferdinando tinha sido assassinado em Sarajevo no mês anterior, e os eventos que levariam à Primeira Guerra Mundial estavam acontecendo. Freundlich chegou à Rússia com bastante tempo disponível para aprontar seus telescópios para o dia do eclipse, ao que tudo indica ignorando que a Alemanha tinha declarado guerra à Rússia enquanto ele viajava. E cidadãos alemães carregando telescópios e equipamento fotográfico pela Rússia naquela ocasião estavam procurando encrenca. Não surpreende que Freundlich e sua equipe tenham sido presos sob suspeita de espionagem. E, para piorar as coisas, eles foram detidos antes do eclipse, de modo que a expedição foi um fracasso completo. Felizmente para Freundlich, a Alemanha tinha aprisionado um grupo de oficiais russos na mesma ocasião, assim foi combinada uma troca de prisioneiros, e Freundlich estava em segurança, de novo em Berlim, no dia 2 de setembro.

Essa iniciativa malsucedida simbolizou o modo como a guerra iria paralisar o avanço na física e na astronomia nos quatro anos seguintes. A ciência pura parou, já que toda a pesquisa foi focalizada em meios de vencer a guerra, e muitas das jovens mentes mais brilhantes da Europa se apresentaram como voluntários para lutar por seus países. Harry Moseley, por exemplo, que já era um nome famoso na física atômica em Oxford, se ofereceu para fazer parte de uma das divisões do Novo Exército de Kitchener. Ele foi mandado de navio para Galípoli, no verão de 1915, para juntar-se às forças aliadas que atacavam o território turco. Em carta à mãe, ele descreveu as condições em Galípoli: “O único interesse real na vida são as moscas. Não mosquitos, mas moscas de dia e moscas de noite, moscas na água e moscas na comida”. Ao alvorecer do dia 10 de agosto, 30 mil soldados turcos iniciaram um ataque que resultou nos mais violentos combates à baioneta de

toda a guerra. Quando o assalto terminou, Moseley estava morto. Até mesmo a imprensa alemã lamentou sua morte, classificando-a como “uma perda cruel” (*ein schwerer Verlust*) para a ciência.

De modo semelhante, Karl Schwarzschild, diretor do Observatório de Potsdam, na Alemanha, também se ofereceu para lutar por seu país. Ele continuou a escrever trabalhos científicos enquanto estava preso nas trincheiras, incluindo um sobre a teoria da relatividade geral de Einstein, que mais tarde levou à compreensão dos buracos negros. No dia 24 de fevereiro de 1916, Einstein apresentou o trabalho à Academia Prussiana. E quatro meses depois Schwarzschild estava morto. Tinha contraído uma doença fatal na frente oriental.

Enquanto Schwarzschild se apresentava para lutar, seu equivalente no Observatório de Cambridge, Arthur Eddington, recusou-se a se alistar, com base em princípios religiosos. Educado como um quacre devoto, Eddington deixou clara sua posição: “Minha objeção à guerra é baseada em princípios religiosos... Mesmo se a abstenção dos opositores conscienciosos fizer a diferença entre a vitória ou a derrota, nós não podemos verdadeiramente beneficiar a nação com a desobediência obstinada à vontade divina”. Os colegas de Eddington apelaram para que ele fosse excluído do serviço militar com o argumento de que ele era mais valioso para o país como cientista, mas o Ministério do Interior rejeitou a petição. Parecia inevitável que a postura de Eddington como opositor consciencioso o levaria para um campo de prisioneiros.

Então Frank Dyson, o astrônomo real, veio salvá-lo. Dyson sabia que haveria um eclipse total do Sol no dia 29 de maio de 1919, e que aconteceria junto a um rico aglomerado de estrelas conhecido como as Híades — um excelente cenário para medir qualquer desvio gravitacional da luz. A trilha do eclipse cruzava a América do Sul e a África Central, de modo que fazer as observações implicaria montar uma grande expedição aos trópicos. Dyson sugeriu ao almirantado que Eddington poderia servir ao seu país organizando e liderando tal expedição, e, enquanto isso, ele deveria permanecer em Cambridge para prepará-la. Dyson apelou para o patriotismo, sugerindo que era dever de um cidadão inglês defender a gravidade de Newton contra a teoria germânica da relatividade geral. Em seu coração e em sua mente, Dyson

era pró-Einstein, mas ele esperava que esse subterfúgio convencesse as autoridades. Sua campanha deu certo. A ameaça de prisão foi esquecida e Eddington recebeu permissão para continuar trabalhando no observatório, preparando tudo para o eclipse de 1919.

De fato, Eddington era o homem perfeito para verificar a teoria de Einstein. Ele passara toda a vida fascinado pela matemática e pela astronomia, desde a idade de quatro anos, quando tentara contar todas as estrelas do céu. Tornou-se um aluno brilhante, ganhando uma bolsa de estudos na Universidade de Cambridge, onde foi o melhor aluno do ano, recebendo a mais alta distinção. E manteve sua reputação graduando-se um ano antes dos colegas. Como pesquisador, ficou bem conhecido como defensor da relatividade geral, e no devido tempo escreveria *A teoria matemática da relatividade*, que Einstein elogiaria como “a melhor apresentação do assunto em qualquer idioma”. Eddington ficou tão associado com a teoria que o físico Ludwig Silberstein, que também se considerava uma autoridade em relatividade geral, uma vez disse para Eddington: “O senhor deve ser uma das três pessoas no mundo que compreendem a relatividade geral”. Eddington ficou olhando em silêncio, até que Silberstein lhe disse para não ser tão modesto. “Pelo contrário”, respondeu Eddington. “Estou tentando lembrar quem é a terceira pessoa.”

Além de ser intelectualmente bem dotado e possuir a confiança necessária para liderar uma expedição, Eddington também era forte o bastante para sobreviver aos rigores de uma aventura tropical. Isso era importante, porque as expedições astronômicas têm a reputação de serem jornadas árduas que levam os cientistas aos seus limites. No final do século XVIII, por exemplo, o cientista francês Jean d’Auroche participou de duas expedições para observar o planeta Vênus passando sobre a face do Sol. Na primeira, em 1761, ele foi para a Sibéria, onde teve que ser protegido pelos cossacos, porque a população local achava que os estranhos equipamentos que ele tinha apontado para o Sol eram responsáveis pelas severas inundações da primavera, que tinham acontecido recentemente. Oito anos depois, ele repetiu suas observações do trânsito de Vênus na península Baja, no México, mas a febre matou D’Auroche e dois membros de sua equipe logo depois, deixando apenas um sobrevivente para levar as preciosas medições para Paris.

\*

Outras expedições eram menos perigosas para o corpo, porém mais exaustivas para a mente. Guillaume le Gentil, um dos colegas de D'Aueroche, também tinha planejado observar o trânsito de Vênus em 1761, mas viajou para Pondicherry, na Índia francesa, para testemunhar o evento. Quando chegou lá, os britânicos estavam em guerra contra os franceses, Pondicherry estava sitiada e Le Gentil não pôde desembarcar na Índia. Ele decidiu então se estabelecer em Maurício e ganhar a vida como comerciante enquanto esperava oito anos pelo trânsito de 1769. Desta vez ele conseguiu chegar a Pondicherry e desfrutou semanas de gloriosa luz solar nos dias anteriores ao trânsito, apenas para as nuvens aparecerem no momento crucial, obscurecendo completamente a visão. "Passei mais de duas semanas num estado de depressão", escreveu, "e quase não tinha coragem de pegar na pena para continuar meu diário. Várias vezes esta caiu de minhas mãos quando chegou a hora de relatar à França o destino de minha empreitada." Depois de uma ausência de 11 anos, seis meses e 13 dias, ele retornou para sua casa, na França, e descobriu que ela tinha sido saqueada. Mas conseguiu reconstruir sua vida escrevendo suas memórias, que se tornaram um grande sucesso comercial.

No dia 8 de março de 1919, Eddington e sua equipe deixaram Liverpool a bordo do HMS *Anselm* e se dirigiram para a ilha da Madeira, onde os cientistas se dividiram em dois grupos. Um grupo permaneceu a bordo do *Anselm* e viajou para o Brasil a fim de observar o eclipse em Sobral, no Ceará. Eddington e o segundo grupo embarcaram no cargueiro *Portugal* e foram para a ilha de Príncipe, em frente à costa da Guiné Equatorial, na África Ocidental. A idéia era de que, se as nuvens escondessem o eclipse no Brasil, talvez a equipe africana tivesse sorte, ou vice-versa. O clima decidiria o resultado das expedições, e assim ambas as equipes começaram a procurar um lugar ideal para a observação assim que chegaram aos seus destinos. Eddington usou um dos primeiros veículos com tração nas quatro rodas para explorar Príncipe, e afinal decidiu instalar seus equipamentos em Roca Sundy, um local elevado no noroeste da ilha, que parecia menos propenso ao céu nublado. Então a equipe passou a testar chapas fotográficas e a verificar equipamentos, garantindo que tudo estivesse perfeito para o grande dia.

As observações do eclipse poderiam levar a três resultados possíveis. Talvez a luz das estrelas fosse apenas levemente desviada, como previa a teoria da gravidade de Newton. Ou, como Einstein esperava, haveria um desvio mais significativo de acordo com a relatividade geral. Ou talvez os resultados discordassem de ambas as teorias, o que implicaria que Einstein e Newton estariam errados.

Einstein previa que uma estrela que aparecesse na borda do Sol seria desviada de 1,74 segundos de arco ( $0,0005^\circ$ ), o que estava exatamente dentro das tolerâncias do equipamento de Eddington e era duas vezes o desvio previsto por Newton. Esse desvio angular era o equivalente a uma vela, a uma distância de um quilômetro, movendo-se para a esquerda apenas um centímetro.

À medida que o dia do eclipse se aproximava, nuvens ameaçadoras formaram-se sobre Sobral e Príncipe, seguidas por chuvas e trovoadas. No sítio de observação de Eddington, a tempestade passou uma hora antes de o disco da Lua tocar a borda do Sol, mas o céu ainda permanecia enevoadado e as condições de observação estavam longe do ideal. A missão corria perigo. Eddington registrou o que aconteceu em seguida no seu livro de anotações: “A chuva cessou por volta do meio-dia e por volta de uma e meia da tarde, quando a fase parcial do eclipse já estava bem avançada, começamos a vislumbrar o Sol e tivemos que realizar nosso programa de fotografias na base da fé. Eu nem vi o eclipse, estava ocupado demais trocando as chapas fotográficas. Só dei uma olhada para me certificar de que tinha começado, e outra espiada no meio para ver até que ponto estava nublado...”

A equipe de observadores agiu com uma precisão militar. As chapas foram montadas, expostas e então removidas numa cronometragem de frações de segundo. Eddington anotou: “Estávamos cientes apenas da estranha meia-luz que tomara conta da paisagem, do silêncio da natureza, quebrado pelos chamados dos observadores, e da batida do metrônomo marcando os 302 segundos de totalidade”.

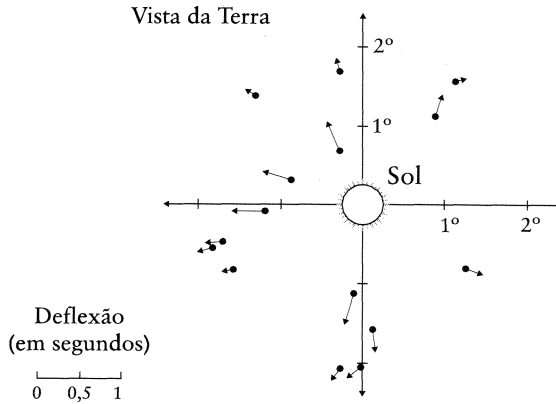
Das 16 fotografias tiradas pela equipe de Príncipe, a maioria foi estragada por fiapos de nuvens obscurecendo as estrelas. De fato, durante o breve momento de céu claro foi possível tirar apenas uma fotografia de valor científico. Em seu livro *Espaço, tempo e gravidade*, Eddington descreveu o que aconteceu com esta preciosa fotografia:

Ela foi medida... alguns dias depois do eclipse com uma máquina de medição micrométrica. O problema era determinar como as posições aparentes das estrelas eram afetadas pelo campo gravitacional do Sol, em comparação à sua posição normal em uma fotografia tirada quando o Sol estava fora do caminho. Fotografias normais, para comparação, tinham sido feitas com o mesmo telescópio, na Inglaterra, em janeiro. A foto do eclipse e a foto para comparação foram colocadas, filme a filme, em uma máquina de medição, de modo que as imagens correspondentes ficassem uma sobre a outra, e as pequenas distâncias fossem medidas em direções retangulares. A partir destas os deslocamentos relativos das estrelas poderiam ser calculados... E os resultados dessa chapa apresentaram um deslocamento distinto de acordo com a teoria de Einstein e discordando da previsão newtoniana.

As estrelas imediatamente em volta do eclipse tinham sido apagadas pela coroa solar, que apareceu como um halo brilhante assim que o Sol foi completamente encoberto pela Lua. Entretanto, as estrelas um pouco mais afastadas do Sol ficaram visíveis e tinham sofrido um desvio em suas posições de aproximadamente um segundo de arco. Eddington então extrapolou o valor do desvio para as estrelas imperceptíveis, localizadas na borda do Sol, e estimou que a deflexão máxima tinha sido de 1,61 segundo de arco. Mesmo levando em conta desalinhamentos e outras imprecisões possíveis, Eddington calculou o erro no desvio máximo como algo em torno de 0,3 segundo de arco, assim, seu resultado final foi que a deflexão gravitacional causada pelo Sol era de  $1,61 \pm 0,3$  segundo de arco. Einstein tinha previsto um desvio de 1,74 segundo de arco. Isso significava que a previsão de Einstein estava de acordo com a medição real, enquanto a previsão de Newton, de exatamente 0,87 segundo de arco, estava muito distante da realidade. Eddington mandou um telegrama controladamente otimista para seus colegas em casa. “Através das nuvens, esperançosamente. Eddington.”

Enquanto Eddington voltava para a Inglaterra, a equipe brasileira também já estava a caminho. As tempestades em Sobral tinham caído várias horas antes do eclipse, limpando o ar da poeira e oferecendo aos observadores condições ideais. As chapas fotográficas brasileiras só poderiam ser exa-





**Figura 27** Os resultados de Eddington obtidos na expedição do eclipse de 1919 foram confirmados em 1922 por uma equipe de astrônomos que observou um eclipse do Sol da Austrália. O mapa mostra as posições reais de 15 estrelas em torno do Sol (os pontos) e as setas apontam para as posições observadas, que mostram todas uma deflexão para fora. A figura 26 explica por que a luz estelar, que foi curvada na direção do Sol, faz a estrela parecer ter se deslocado para longe do Sol.

De um ponto de vista técnico, astrônomos que querem comparar os resultados observados com as previsões baseadas na teorias de Newton e Einstein freqüentemente extrapolam seus dados e estimam a deflexão que uma estrela hipotética sofreria bem na borda do disco solar. As verdadeiras posições das estrelas são marcadas em graus em relação ao Sol, mas os desvios são indicados de acordo com uma escala separada em segundos — de outro modo eles seriam muito pequenos para serem vistos neste diagrama.

minadas depois que voltassem para a Europa, pois não suportariam uma revelação no clima tropical quente e úmido. Os resultados do Brasil, baseados nas medidas de posição de várias estrelas, implicavam uma deflexão máxima de 1,98 segundo de arco, o que era mais alto do que a previsão de Einstein, mas ainda de acordo com ela devido às margens de erro. Isso confirmou as conclusões da equipe de Príncipe.

Mesmo antes de serem formalmente anunciados, os resultados de Eddington viraram assunto de rumores que se espalharam rapidamente pela Europa. Um desses vazamentos da notícia chegou ao físico holandês Hendrik Lorenz, que contou a Einstein que Eddington tinha encontrado forte evidência a favor da teoria da relatividade geral e de sua fórmula da gravidade. Einstein, por sua vez, enviou um cartão-postal para sua mãe com a anota-

ção: “Boas notícias hoje. H.A Lorenz me telegrafou dizendo que a expedição inglesa realmente provou a deflexão pela luz do Sol”.

Em 6 de novembro de 1919, os resultados de Eddington foram apresentados oficialmente num encontro conjunto da Sociedade Astronômica Real e da Sociedade Real. O evento foi testemunhado pelo filósofo e matemático Alfred North Whitehead: “Toda a atmosfera de tensão e interesse era digna de um drama grego: nós éramos um coro comentando um decreto do destino como fora revelado num incidente supremo. Havia uma característica dramática no próprio cenário — um retrato tradicional e cerimonial de Newton, para nos lembrar que a maior das generalizações científicas estava agora, depois de dois séculos, prestes a receber sua primeira modificação”.

Eddington subiu ao palco e explicou com clareza e entusiasmo as observações que tinha feito, concluindo com uma explicação das implicações assombrosas. Foi um grande desempenho de um homem que estava convencido de que as chapas fotográficas tiradas em Príncipe e no Brasil eram prova indiscutível de que a visão de universo de Einstein estava correta. Cecilia Payne, que se tornaria uma astrônoma famosa, era apenas uma estudante de 19 anos quando assistiu à palestra de Eddington: “O resultado foi uma transformação completa da minha visão do mundo. Minha realidade foi tão abalada que eu senti algo muito próximo de um colapso nervoso”.

Contudo, ouviram-se vozes discordantes, a mais notável vindo do pioneiro do rádio Oliver Lodge. Nascido em 1851, Lodge era um típico cientista vitoriano, criado nos ensinamentos de Newton. Na verdade, ele ainda era um crente devoto no éter e continuaria a defender a sua existência: “A primeira coisa a se notar a respeito do éter é sua continuidade absoluta. Um peixe no mar profundo não tem meios de compreender a existência da água, ele está mergulhado nela de modo demasiado uniforme. E essa é a nossa condição em relação ao éter”. Ele e seus contemporâneos lutaram para salvar sua visão de um universo newtoniano cheio de éter, mas a tentativa foi completamente tola em face da evidência que estava sendo apresentada.

J. J. Thomson, presidente da Sociedade Real, resumiu o encontro da seguinte maneira: “Se for mantido que a argumentação de Einstein é correta — e esta sobreviveu a duas provas severas em conexão com o periélio de

Mercúrio e o presente eclipse — então esta é uma das maiores realizações do pensamento humano”.

No dia seguinte, o *Times* anunciou a novidade com manchete REVOLUÇÃO NA CIÊNCIA — NOVA TEORIA DO UNIVERSO — IDÉIAS NEWTONIANAS DERRUBADAS. Alguns dias depois, o *New York Times* anunciou: LUZ TODA TORTA NO CÉU, TEORIA DE EINSTEIN TRIUNFA. Subitamente, Albert Einstein tinha se tornado o primeiro superastro mundial da ciência. Ele tinha demonstrado um conhecimento sem igual das forças que regem o universo e ao mesmo tempo era carismático, espirituoso e filosófico. Era o sonho dos jornalistas. Embora inicialmente apreciasse a atenção que estava recebendo, ele logo começou a se cansar do frenesi da mídia, expressando sua preocupação em uma carta ao físico Max Born: “Seu excelente artigo no *Frankfurter Zeitung* me deu grande satisfação. Mas de agora em diante, como sabe, eu serei perseguido pela imprensa e pela plebe, embora você o seja em menor extensão. Está tão ruim que mal posso sair para tomar ar, muito menos trabalhar adequadamente”.

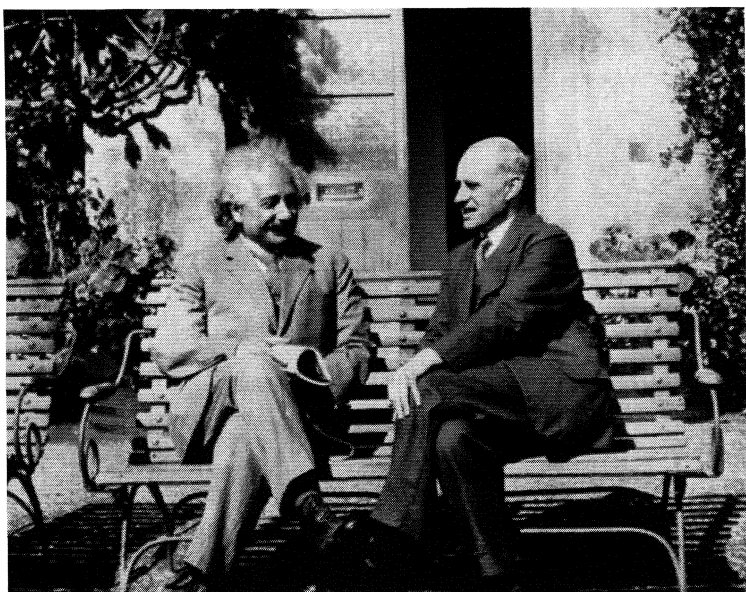
Em 1921, Einstein fez a primeira de várias viagens aos Estados Unidos, e em cada ocasião viu-se cercado por grandes multidões e falou para salas de conferências lotadas. Nenhum físico antes ou depois de Einstein conquistou tal fama mundial ou atraiu tanta admiração e adulação. Talvez o impacto de Einstein no público em geral tenha sido mais bem resumido por um jornalista levemente histérico que descrevia as conseqüências de uma palestra que Einstein deu no Museu Americano de História Natural, em Nova York:

A multidão que se reunira no auditório principal, em meio aos grandes meteoritos, ressentia-se do fato de que os recepcionistas uniformizados estavam tentando excluir aqueles que não tinham ingressos. Com medo de serem expulsos do salão, um grupo de rapazes atacou os quatro ou cinco recepcionistas que estavam guardando a porta que leva ao Salão dos Índios Norte-americanos... Depois que os recepcionistas foram empurrados para os lados, os homens, mulheres e crianças na sala dos meteoritos avançaram. Os menos ágeis foram derrubados e pisoteados. Mulheres gritavam. Assim que encontraram uma saída, os recepcionistas foram buscar ajuda. O porteiro telefonou para a polícia e em alguns minutos homens uniformizados corriam para

a grande instituição científica numa missão totalmente nova na história do Departamento de Polícia — controlar um tumulto científico.

Embora a teoria da relatividade geral fosse exclusivamente trabalho de Einstein, ele estava bem ciente de que as observações de Eddington tinham sido cruciais para a aceitação de sua revolução na física. Einstein desenvolvera a teoria; Eddington a verificara diante da realidade. Observação e experimento são os derradeiros árbitros da verdade, e a relatividade geral tinha passado no teste.

Não obstante, Einstein uma vez fez um comentário bem-humorado quando um estudante lhe perguntou como ele teria reagido se o universo de Deus tivesse se mostrado diferente do modo previsto pela teoria da relatividade geral. Numa maravilhosa demonstração de falso orgulho, Einstein respondeu: “Então eu teria pena do Bom Deus. A teoria está correta de qualquer modo”.



**Figura 28** Albert Einstein, que desenvolveu a estrutura teórica da relatividade geral, e Sir Arthur Eddington, que a provou ao observar o eclipse de 1919. Esta fotografia foi tirada em 1930, quando Einstein visitou Cambridge para receber um grau honorário.

## O universo de Einstein

A teoria da gravidade de Newton ainda é amplamente utilizada hoje para calcular tudo, da trajetória de uma bola de tênis às forças que atuam sobre uma ponte suspensa, do balançar de um pêndulo à trajetória de um míssil. A fórmula de Newton continua a ser altamente precisa quando aplicada a fenômenos que acontecem dentro do reino da baixa gravidade terrestre, onde as forças são comparativamente fracas. Contudo, a teoria da gravidade de Einstein era melhor, em última análise, porque podia ser aplicada igualmente à gravidade fraca do ambiente da Terra e aos ambientes de gravidade intensa que envolvem as estrelas. Embora a teoria de Einstein fosse superior à de Newton, o criador da relatividade geral foi rápido em reconhecer o gigante do século XVII sobre cujos ombros ele tinha se erguido: “Ele encontrou o único caminho que era possível, em sua época, para um homem do mais elevado intelecto e poder criativo”.

Tinha sido uma jornada um tanto tortuosa que nos levava até a teoria da gravidade de Einstein, envolvendo a medição da velocidade da luz, a rejeição do éter, a relatividade galileana, a relatividade especial e, finalmente, a relatividade geral. Depois de todas as voltas e reviravoltas nessa história, a única coisa importante a lembrar é que os astrônomos agora tinham uma teoria da gravidade nova e aperfeiçoada, que era precisa e confiável.

A compreensão da gravidade é crítica para a astronomia e a cosmologia porque a gravidade é a força que guia os movimentos e as interações de todos os corpos celestes. A gravidade determina se um asteroide vai colidir com a Terra ou girar inofensivamente; determina como duas estrelas orbitam uma em torno da outra em um sistema estelar binário; e explica por que uma estrela especialmente maciça pode afinal colapsar sob seu próprio peso e formar um buraco negro.

Einstein estava ansioso para ver como a sua nova teoria da gravidade afetaria nossa compreensão do universo, e assim, em fevereiro de 1917, ele escreveu um trabalho científico intitulado “Considerações cosmológicas da teoria da relatividade geral.” A palavra-chave no título era “cosmológica”. Einstein não estava mais interessado no desvio da órbita do planeta Mercú-

rio ou no modo como o nosso Sol entorta a luz das estrelas. Ele focalizava agora o papel da gravidade em uma grande escala cósmica.

Einstein queria entender as propriedades e as interações de todo o universo. Quando Copérnico, Kepler e Galileu formularam sua visão do universo, eles focalizaram suas atenções sobre o Sistema Solar, mas Einstein estava verdadeiramente interessado em todo o universo, até onde qualquer telescópio podia ver e além. Logo depois de publicar esse trabalho, Einstein comentara: “O estado mental que permite a um homem fazer um trabalho desse tipo... é semelhante ao de um devoto religioso ou de um amante apaixonado; o esforço diário não vem de um programa ou de uma intenção deliberada; e sim direto do coração”.

Usar a fórmula da gravidade para prever o comportamento da órbita de Mercúrio envolve pouco mais do que introduzir algumas massas e distâncias e fazer um cálculo direto. Mas fazer o mesmo para o universo inteiro exigiria levar em consideração todas as estrelas e planetas conhecidos e desconhecidos. O que parece uma ambição absurda — certamente semelhante cálculo seria impossível. Mas Einstein reduziu sua tarefa a um nível acessível fazendo uma única suposição simplificadora em relação ao universo.

A suposição de Einstein é conhecida como o *princípio cosmológico*, que declara que o universo é mais ou menos igual em toda parte. Mais especificamente, o princípio presume que o universo é *isotrópico*, o que significa que ele vai parecer o mesmo em todas as direções — o que certamente parece ser o caso quando os astrônomos observam o espaço cósmico. O princípio cosmológico também supõe que o universo é *homogêneo*, o que significa que o universo parecerá o mesmo onde quer que você esteja, o que é outro modo de se dizer que a Terra não ocupa um lugar especial no universo.

Quando Einstein aplicou a relatividade geral e sua fórmula da gravidade ao universo como um todo, ficou um tanto surpreso e desapontado pela previsão da teoria sobre como o universo funcionaria. O que ele encontrou implicava que o universo era ameaçadoramente instável. A fórmula da gravidade de Einstein mostrava que todos os objetos no universo se atraíam em uma escala cósmica. Isso faria com que todos se aproximassem cada vez mais. A atração poderia começar como um lento deslizar mas gradualmente se transformaria em uma avalanche que terminaria num poderoso esmagar-

mento. Aparentemente, o universo estava destinado a se autodestruir. Retornando à nossa analogia da cama elástica para o tecido do espaço-tempo, podemos imaginar uma gigantesca folha elástica ocupada por várias bolas de boliche, cada uma criando sua própria depressão. Cedo ou tarde duas bolas vão rolar uma em direção à outra, formando uma cavidade ainda mais profunda que, por sua vez, atrairá outras bolas, até todas colidirem e se aglomerarem em um único poço muito profundo.

Este era um resultado absurdo. Como foi discutido no capítulo 1, a comunidade científica no início do século XX estava confiante em que o universo era estático e eterno, não temporário e em contração. Não nos surpreende que Einstein não gostasse da noção de um universo em colapso. “Admitir tal possibilidade me parece sem sentido.”

Embora fosse diferente, a teoria da gravidade de Isaac Newton também dava origem a um universo colapsante, e Newton também ficara incomodado com as implicações de sua teoria. Uma de suas soluções fora imaginar um universo infinito e simétrico, no qual cada objeto seria puxado em todas as direções e não haveria movimento total e colapso. Infelizmente, ele logo percebeu que seu universo equilibrado com tanto cuidado seria instável. Um universo infinito pode existir, teoricamente, em estado de equilíbrio, mas na prática a menor perturbação do equilíbrio gravitacional terminaria em uma catástrofe. Um cometa em passagem pelo Sistema Solar, por exemplo, aumentaria momentaneamente a densidade de massa de cada região do espaço por onde passasse, atraindo mais material para aquelas regiões e assim iniciando o processo de colapso total. Cada vez que virássemos a página de um livro, isso alteraria o equilíbrio do universo, e, no devido tempo, também provocaria um desabamento cataclísmico. Para resolver o problema, Newton sugeriu que Deus fazia uma intervenção de tempos em tempos para manter as estrelas e outros corpos celestes afastados.

Einstein não estava disposto a reconhecer um papel divino na manutenção do universo, mas ao mesmo tempo ansiava por encontrar um meio de manter o universo eterno e estático, de acordo com o consenso científico. Depois de reexaminar sua teoria da relatividade geral, ele descobriu um truque matemático que salvaria o universo do colapso. Viu que sua fórmula da gravidade poderia ser adaptada para incluir um novo elemento, conhecido

como *constante cosmológica*. Esta dava ao espaço vazio uma pressão inerente que mantinha afastados os elementos do universo. Em outras palavras, a constante cosmológica dava origem a uma nova força repulsora através de todo o universo, que efetivamente agia contra a atração gravitacional de todas as estrelas. Isso era uma espécie de antigravidade cuja força dependia do valor dado à constante (que, em teoria, poderia ter qualquer valor arbitrário). Einstein percebeu que, se selecionasse com cuidado o valor da constante cosmológica, poderia contrabalançar exatamente a atração gravitacional convencional e impedir o colapso do universo.

De modo crucial, essa antigravidade seria significativa através de distâncias imensas, mas desprezível em distâncias curtas. Portanto, ela não perturbaria a provada capacidade da relatividade geral de moldar com sucesso a gravidade no ambiente terrestre ou estelar. Resumindo, a fórmula de Einstein, revisada para a relatividade geral, podia alegar três sucessos distintos em termos da descrição da gravidade. Ela era capaz de:

1. Explicar um universo estático e eterno.
2. Imitar todos os sucessos de Newton em baixa gravidade (como na Terra).
3. Ter sucesso onde Newton falhara em gravidade elevada (como em Mercúrio).

Muitos cosmólogos ficaram felizes com a constante cosmológica de Einstein, porque ela parecia um truque para tornar a relatividade geral compatível com um universo eterno e estático. Mas ninguém tinha um palpite sobre o que a constante cosmológica realmente representava. De certo modo, esta equivalia aos epiciclos de Ptolomeu, era um ajuste que permitira a Einstein chegar ao resultado certo. Até mesmo Einstein admitia, timidamente, que era isso mesmo, ao confessar que a constante cosmológica “era necessária apenas para o propósito de criar uma distribuição quase estática de matéria”. Em outras palavras, fora uma invenção que Einstein usara para chegar ao resultado que esperava, ou seja, um universo estático e eterno.

Einstein também admitia que achava a constante cosmológica deselegante. Falando de seu papel na relatividade geral, ele disse certa vez que ela “era seriamente prejudicial à beleza formal da teoria”. Tratava-se

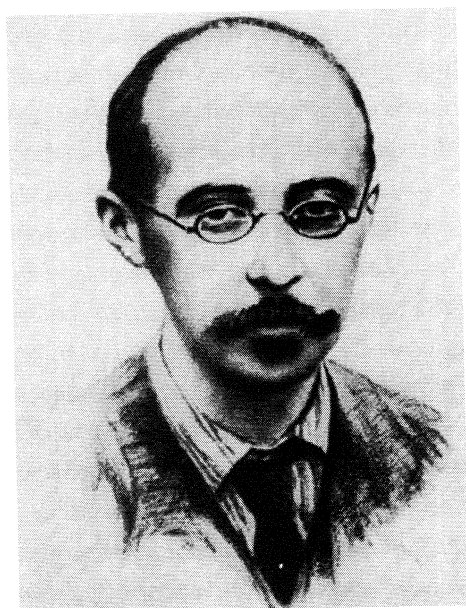


de um problema, porque os físicos são freqüentemente motivados por uma busca da beleza em suas teorizações. Existe um consenso de que as leis da física devem ser elegantes, simples e harmoniosas, e esses fatores em geral agem como guias, orientando os físicos na direção de leis que possam ser válidas e afastando-os das que são falsas. A beleza é difícil de definir em qualquer contexto, mas todos a reconhecemos quando a vemos, e, quando Einstein olhava para a sua constante cosmológica, ele tinha que admitir que ela não era muito bonita. Não obstante, ele estava preparado para sacrificar um certo grau de beleza em sua fórmula, porque o sacrifício permitia que a teoria da relatividade geral acomodasse um universo eterno, que era o que a ortodoxia científica exigia.

Entretanto, outro cientista iria adotar uma visão oposta e colocaria a beleza acima da ortodoxia em uma visão radicalmente diferente do universo. Tendo lido o trabalho cosmológico de Einstein com prazer, Aleksandr Friedmann iria questionar o papel da constante cosmológica e desafiar a comunidade científica.

Nascido em São Petersburgo em 1888, Friedmann cresceu em meio a uma grande agitação política e aprendeu cedo a desafiar as instituições. Ele foi um ativista adolescente que liderou greves estudantis como parte de um protesto nacional contra o repressivo governo czarista. A revolução de 1905, que se seguiu aos protestos, resultou em uma reforma da constituição e um período de relativa calma, embora o czar Nicolau II continuasse no poder.

Quando Friedmann entrou na Universidade de São Petersburgo, em 1906, para estudar matemática, tornou-se um protegido do professor Vladimir Steklov, que também era anticzarista. Ele encorajou Friedmann a estudar problemas que teriam intimidado outros estudantes. Steklov mantinha amplos registros e anotou o que aconteceu quando apresentou a Friedmann um tremendo problema matemático relacionado à equação de Laplace: “Eu tinha tocado nesse problema durante a minha tese de doutorado, mas não o abordara em detalhes. Sugeri ao sr. Friedmann que ele tentasse resolver o problema tendo em vista a sua extraordinária capacidade de trabalho e conhecimento comparada com outras pessoas de sua idade. Em janeiro desse ano, o sr. Friedmann me apresentou um extenso estudo de 130 páginas, no qual dava uma solução bem satisfatória para o problema”.



**Figura 29** Aleksandr Friedmann, o matemático russo cujo modelo cosmológico apontou para um universo em evolução e expansão.

Embora Friedmann tivesse claramente uma paixão e um talento para a matemática, que pode ser uma disciplina muito abstrata, ele também tinha uma queda para a ciência e a tecnologia, e estava preparado para se envolver em pesquisas militares durante a Primeira Guerra Mundial. Ele até mesmo se apresentou como voluntário para voar em missões de bombardeio e aplicou seus talentos matemáticos ao problema prático de lançar bombas com uma precisão maior. Ele escreveu para Steklov: “Recentemente tive uma chance de verificar minhas idéias durante um vôo sobre Przemyśl; as bombas caíram quase do mesmo modo como a teoria previa. E para ter uma prova conclusiva, eu vou voar de novo dentro de alguns dias”.

Além da Primeira Guerra Mundial, Friedmann também suportou a Revolução de 1917 e a guerra civil que se seguiu a ela. Quando afinal retornou a sua vida acadêmica, foi confrontado com a chegada tardia da teoria da relatividade geral de Einstein, que passara vários anos amadurecendo na Europa ocidental antes de ser adequadamente divulgada nos círculos acadê-

micos da Rússia. De fato, talvez tenha sido o próprio isolamento da Rússia da comunidade científica ocidental que permitira a Friedmann ignorar a abordagem de Einstein da cosmologia e criar seu próprio modelo do universo.

Enquanto Einstein tinha iniciado com o pressuposto de um universo eterno e então acrescentara a constante cosmológica para fazer com que sua teoria correspondesse às expectativas, Friedmann adotou a posição oposta. Ele começou com a teoria da relatividade geral em sua forma mais simples e esteticamente mais agradável — sem a constante cosmológica —, o que lhe deu a oportunidade de ver que tipo de universo surgiria da teoria. Essa era uma abordagem tipicamente matemática, pois Friedmann era um matemático de coração. Era óbvio que ele esperava que sua abordagem mais pura levaria a uma descrição mais precisa do universo, mas para Friedmann era a beleza da equação e a majestade da teoria que tinham precedência sobre a realidade — ou, na verdade, sobre as expectativas.

A pesquisa de Friedmann chegou ao clímax em 1922, quando ele publicou um trabalho no jornal *Zeitschrift für Physik*. Enquanto Einstein tinha argumentado a favor de uma constante cosmológica precisamente ajustada e um universo precisamente equilibrado, Friedmann agora descrevia como modelos diferentes do universo poderiam ser criados com vários valores da constante cosmológica. E, o que era mais importante, ele delineava um modelo de universo no qual a constante cosmológica era estabelecida como zero. Tal modelo era efetivamente baseado na fórmula original de Einstein para a gravidade sem qualquer constante cosmológica. Sem a constante cosmológica para contrabalançar a atração gravitacional, o modelo de Friedmann era vulnerável à força inexorável da gravidade. Isso dava origem a um modelo dinâmico e evolutivo do universo.

Para Einstein e seus colegas, tal dinamismo estava associado a um universo condenado a um colapso cataclísmico. Portanto, a maioria dos cosmólogos achou a idéia impensável. Para Friedmann, entretanto, tal dinamismo estava associado a um universo que poderia ter sido impulsionado por uma expansão inicial, assim ele teria um ímpeto com o qual lutar contra a força da gravidade. Esta era uma visão radicalmente nova do universo.

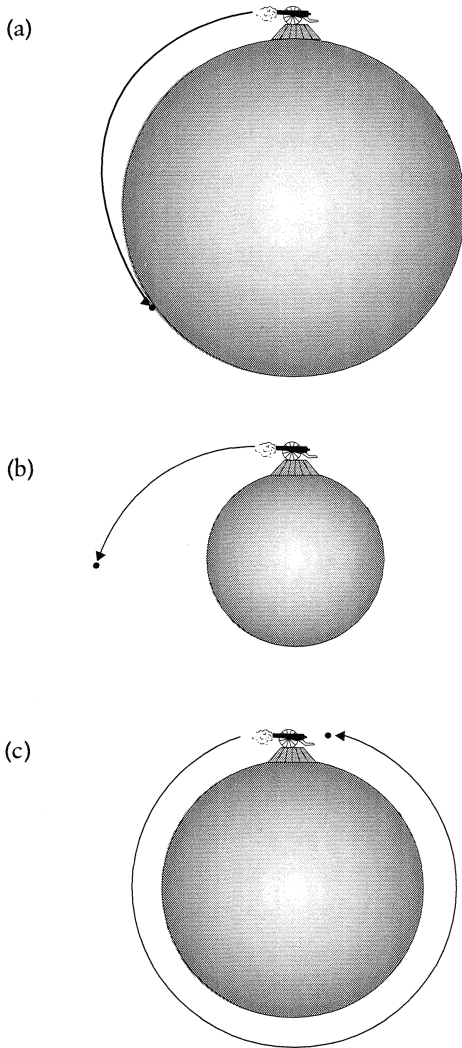
Friedmann explicou como o seu modelo do universo reagiria à gravidade de três maneiras possíveis, dependendo da rapidez com que o universo co-

meçara a se expandir e de quanta matéria ele continha. A primeira possibilidade presumia que a densidade média do universo era alta, com um bocado de estrelas em um dado volume. Um monte de estrelas significaria uma forte atração gravitacional, que por fim puxaria todas as estrelas de volta, parando com a expansão e gradualmente provocando uma contração do universo até ele colapsar por completo sobre si mesmo. A segunda variação do modelo de Friedmann presumia que a densidade média de estrelas era baixa, e nesse caso a atração da gravidade jamais sobrepujaria a expansão do universo, que continuaria se expandindo para sempre. A terceira variação considerava uma densidade entre os dois extremos, levando a um universo no qual a gravidade retardaria, mas nunca deteria a expansão. Assim o universo nem colapsaria até se comprimir num ponto, nem se expandiria infinitamente.

Uma analogia útil é pensar no disparo de uma bala de canhão no ar com uma velocidade de lançamento fixa. Imagine que isso acontece em três planetas de tamanhos diferentes, como mostrado na figura 30. Se o planeta é maciço, então a bala vai percorrer algumas centenas de metros no ar e então a forte gravidade fará com que caia no chão. Esse cenário é semelhante ao primeiro modelo de Friedmann, de um universo muito denso que se expande e depois entra em colapso. Se o planeta for muito pequeno, então ele terá uma gravidade fraca, e a bala de canhão voará para o espaço e nunca mais será vista. Isso é semelhante ao segundo cenário de Friedmann, de um universo que se expande para sempre. Entretanto, se o planeta tiver o tamanho certo, com a gravidade certa, então a bala de canhão se deslocará em uma linha reta e entrará em órbita, não se afastando nem se aproximando do planeta, o que é semelhante ao terceiro cenário de Friedmann.

Algo comum a todas as três visões de mundo de Friedmann era a noção de um universo mutável. A seu ver, o universo era diferente ontem e seria diferente amanhã. Essa foi a contribuição revolucionária de Friedmann para a cosmologia: a perspectiva de um universo que evolui em uma escala cósmica em lugar de permanecer estático ao longo da eternidade.

Como as hipóteses proliferam, talvez seja tempo de fazer um balanço. Einstein tinha oferecido duas versões da relatividade geral, com e sem a constante cosmológica. Ele então criou um modelo estático do universo baseado em sua teoria com a constante cosmológica, enquanto Friedmann tinha criado



**Figura 30** Uma bala é disparada de um canhão com a mesma velocidade em três planetas de tamanhos diferentes. O planeta (a) é tão maciço e sua atração gravitacional tão forte que a bala do canhão cai de volta no solo. O planeta (b) é tão leve e sua atração gravitacional tão fraca que a bala voa para o espaço. O planeta (c) tem a massa perfeita para a bala de canhão entrar em órbita.

um modelo (com três variações) baseado em uma teoria sem a constante cosmológica. É claro, podem existir muitos modelos, mas existe apenas uma realidade. E a questão era: que modelo corresponderia à realidade?

Para Einstein, a resposta era óbvia: ele estava certo e Friedmann, errado. Ele até mesmo pensou que o trabalho do russo tivesse um erro matemático e escreveu uma carta para o periódico científico que publicara o trabalho de Friedmann dizendo: “Os resultados concernentes a um mundo não estacionário, contidos no trabalho [de Friedmann] me parecem suspeitos. Na realidade, a solução apresentada não satisfaz as equações [da relatividade geral]”. Mas os cálculos de Friedmann estavam corretos, assim seus modelos eram matematicamente válidos mesmo se sua semelhança com a realidade fosse questionável. Talvez Einstein tenha dado apenas uma olhada no trabalho e pressupôs que estivesse errado só porque divergia de sua crença em um universo estático.

Quando Friedmann fez pressão para uma retratação, Einstein se viu obrigado a admitir que “eu estou convencido de que os resultados do sr. Friedmann são ambos corretos e esclarecedores. Eles mostram que além das soluções estáticas para as equações [da relatividade geral] existem soluções que variam com o tempo com uma estrutura espacialmente simétrica”. Embora agora concordasse que as soluções dinâmicas de Friedmann fossem matematicamente corretas, Einstein ainda persistia em achá-las irrelevantes do ponto de vista científico. De modo significativo, no rascunho original da retratação, ele tinha menosprezado as soluções de Friedmann ao afirmar que “um significado físico dificilmente poderá ser atribuído”, mas então riscou a crítica, talvez por se lembrar de que a carta devia ser um pedido de desculpas.

Apesar das objeções de Einstein, Friedmann continuou a promover suas idéias. Contudo, antes que ele pudesse lançar uma ofensiva sobre a comunidade científica, houve uma intervenção do destino. Em 1925 a esposa de Friedmann estava prestes a dar à luz o seu primeiro filho, e ele tinha tudo para se sentir feliz. Trabalhando longe de casa, ele escreveu uma carta para ela: “Agora todos deixaram o Observatório e eu estou sozinho entre as estátuas e os retratos de meus antecessores, minha alma, depois da agitação do dia, está ficando mais calma e eu me sinto alegre ao pensar que a milhares de milhas de distância o coração amado está batendo, a alma gentil está viva, e uma nova vida está crescendo... uma vida cujo futuro é um mistério e que não tem passado”. Mas Friedmann não viveria para testemunhar o nasci-

mento do filho. Ele ficou gravemente doente, ao que tudo indica com febre tifóide, e morreu num estado de delírio. Um dos jornais de Leningrado relatou que ele tinha tentado realizar cálculos em seu leito de morte, enquanto murmurava sobre seus alunos e falava para uma platéia imaginária.

Friedmann tinha desenvolvido uma nova visão do universo, e no entanto morreria praticamente desconhecido. Suas idéias haviam sido publicadas, mas durante sua vida quase não foram lidas e permaneceram ignoradas. Parte do problema é que Friedmann era simplesmente muito radical. Parece que tinha muito em comum com Copérnico.

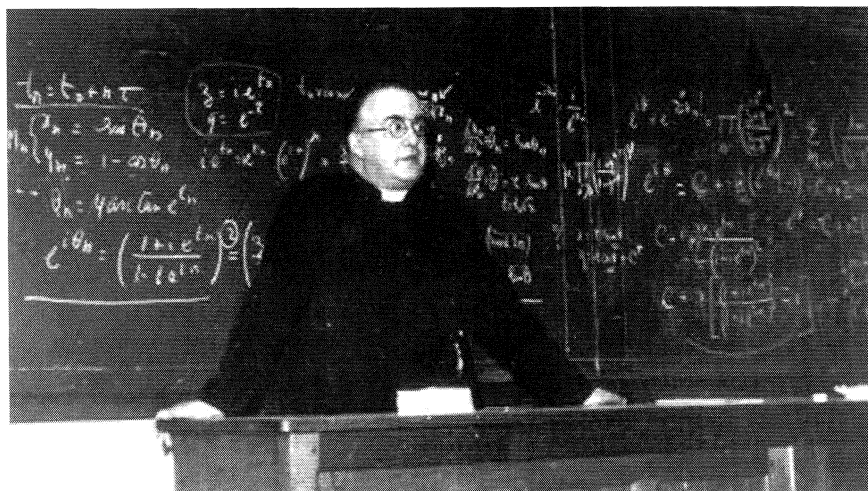
E, para tornar as coisas piores, Friedmann tinha sido condenado por Einstein, o mais famoso cosmólogo do mundo. E, embora Einstein tivesse escrito uma retratação, ainda que de má vontade, isso não era amplamente conhecido e a reputação de Friedmann permaneceu arranhada. Além disso, Friedmann tinha uma experiência como matemático e não como astrônomo, de modo que era considerado um estranho pela comunidade cosmológica. E, além disso, Friedmann estava à frente de seu tempo. Os astrônomos ainda não eram capazes de fazer as observações detalhadas que poderiam dar respaldo a um modelo de universo em expansão. Friedmann admitiu abertamente que não havia evidência a favor de seus modelos: “Tudo isso deve, no momento, ser considerado como fatos curiosos que não podem ser respaldados pelo material experimental astronômico inadequado”.

Felizmente, a idéia de um universo que se expande e evolui não desapareceu por completo. A idéia voltou à tona alguns anos depois da morte de Friedmann, mas de novo o russo não recebeu nenhum crédito. Isto porque o modelo do universo em expansão seria reinventado de modo independente por Georges Lemaître, um clérigo e cosmólogo belga cuja educação fora severamente interrompida pela Primeira Guerra Mundial.

Lemaître, que nascera em Charleroi em 1894, formou-se em engenharia pela universidade de Louvain, mas teve que abandonar os estudos quando as forças alemãs invadiram a Bélgica. Ele passou os quatro anos seguintes no exército, testemunhando os primeiros ataques alemães com gás venenoso e conquistando a Croix de Guerre por sua bravura. Depois da guerra ele retomou seus estudos em Louvain, mas dessa vez trocou a engenharia pela física teórica, e, em 1920, também entrou para o seminário em Maline. Foi ordenado em 1923, e pelo resto de sua vida manteria carreiras paralelas, como

físico e como padre. “Existem dois meios de se alcançar a verdade”, disse ele. “Eu decidi seguir ambos.”

Depois de ser ordenado, Lemaître passou um ano em Cambridge com Arthur Eddington, que o descreveu como “um aluno muito brilhante, maravilhosamente rápido e de visão profunda e com grande habilidade matemática”. No ano seguinte, ele foi para os Estados Unidos e passou algum tempo fazendo medições astronômicas no Observatório Harvard e iniciando seu doutorado no Instituto de Tecnologia de Massachusetts. Lemaître estava se inserindo na comunidade de cosmólogos e astrônomos e se familiarizando com o lado observacional de assunto, numa tentativa de completar sua preferência pela teoria.



**Figura 31** Georges Lemaître, o padre e cosmólogo belga que, sem querer, ressuscitou o modelo de Friedmann de um universo em evolução e expansão. Sua teoria do universo começa com a explosão de um átomo primordial e foi a precursora do modelo do Big Bang.

Em 1925, ele voltou para a universidade de Louvain, assumiu um posto acadêmico e começou a desenvolver seus próprios modelos cosmológicos com base nas equações de Einstein para a relatividade geral, mas ignorando na maior parte a constante cosmológica. Nos dois anos seguintes, ele redescobriu os modelos que descreviam um universo em expansão, sem saber que Friedmann tinha passado pelo mesmo raciocínio no início daquela década.

Lemaître, entretanto, foi além do seu predecessor russo, ao explorar



incansavelmente as implicações de um universo em expansão. Enquanto Friedmann era matemático, Lemaître era um cosmólogo que queria entender a realidade além das equações. Em particular, Lemaître estava interessado na história física do cosmos. Se o universo de fato está se expandindo, então, ontem ele deve ter sido menor do que é hoje. E, de modo semelhante, no ano passado ele deve ter sido menor ainda. E, logicamente, se recuarmos bastante no tempo, então todo o espaço deve ter estado compactado em uma minúscula região. Em outras palavras, Lemaître estava preparado para fazer o relógio andar para trás até alcançar o início aparente do universo.

A grande descoberta de Lemaître era que a relatividade geral implicava um momento de criação. Embora sua busca pela verdade científica não fosse colorida por sua busca pela verdade teológica, tal percepção deve ter afetado o jovem padre. Ele concluiu que o universo começou em uma região pequena e compacta da qual explodiu para fora e evoluiu com o tempo até se transformar no universo em que nos encontramos hoje. De fato, ele acreditava que o universo continuaria a evoluir no futuro.

Tendo desenvolvido o seu modelo do universo, Lemaître começou a procurar pela física que pudesse respaldar ou explicar sua teoria da criação e evolução cósmica. Ele encontrou uma área de interesse crescente entre os astrônomos, a física dos raios cósmicos. Em 1912, o cientista austríaco Victor Hess tinha subido até uma altitude de quase seis quilômetros num balão e detectara indícios de partículas altamente energéticas vindas do espaço cósmico. Lemaître também estava familiarizado com o processo de *decaimento radioativo*, no qual átomos grandes, como os de urânio, se quebram em átomos menores, emitindo partículas, radiação e energia. Lemaître começou a especular que um processo semelhante, embora em escala muito maior, poderia ter dado origem ao universo. Extrapolando para trás no tempo, Lemaître visualizou todas as estrelas espremidas em um universo supercompacto, que ele chamou de *átomo primordial*. E então imaginou o momento da criação como o momento em que este único átomo, que englobava tudo, subitamente sofreu um decaimento, gerando toda a matéria no universo.

Lemaître especulou que os raios cósmicos observados hoje em dia poderiam ser remanescentes do decaimento original, e que a maior parte da matéria ejetada se teria condensado com o tempo para formar as estrelas e os planetas atuais. Mais tarde, ele resumiu sua teoria assim: “A hipótese do

átomo primordial é uma hipótese cosmogênica que visualiza o universo atual como o resultado da desintegração radioativa de um átomo”. Além disso, a energia liberada nessa mãe de todos os decaimentos radioativos teria impulsionado a expansão, que era a base do seu modelo de universo.

Resumindo, Lemaître foi o primeiro cientista a fornecer uma descrição detalhada e razoavelmente segura do que agora chamamos de modelo do Big Bang para o universo. De fato, ele afirmava que este não era apenas *um* modelo do universo, mas *o* modelo do universo. Ele tinha principiado com a teoria da relatividade geral de Einstein, desenvolvera um modelo teórico da criação cosmológica e da expansão, e então o integrara às observações conhecidas de fenômenos como os raios cósmicos e o decaimento radioativo.

Um momento da criação estava no cerne do modelo de Lemaître, mas ele também estava interessado nos processos que tinham transformado uma explosão sem forma nas estrelas e planetas que vemos hoje em dia. Ele estava desenvolvendo uma teoria da criação, da evolução e da história do universo. Embora fosse racional e lógica, ele escreveu sobre sua pesquisa em termos poéticos: “A evolução do universo pode ser comparada a uma exibição de fogos de artifício que chegou ao fim: restam fumaça, cinzas e algumas centelhas. Colocados nessa cinza bem fria, podemos ver os sóis se apagando e tentamos nos lembrar do brilho perdido da origem dos mundos.”

Ao unir sua teoria com a observação e colocando seu Big Bang em uma estrutura de física e astronomia observacional, Lemaître foi bem além do trabalho pioneiro de Friedmann. Não obstante, quando anunciou sua teoria da criação em 1927, o clérigo belga recebeu o mesmo silêncio irritante dos modelos de Friedmann. E não ajudou que Lemaître tivesse escolhido publicar suas idéias em uma revista belga pouco conhecida, os *Annales de la Société Scientifique de Bruxelles*.

A situação ficou pior depois de um encontro com Einstein, logo depois de Lemaître ter publicado sua *Hypothèse de l'atome primitif*. Lemaître estava participando da Conferência Solvay de 1927, em Bruxelas, uma reunião dos maiores físicos do mundo onde ele rapidamente ficou conhecido graças ao seu colarinho de padre. Ele conseguiu abordar Einstein e explicou-lhe sua visão de um universo criado e em expansão. Einstein respondeu que já tinha ouvido a idéia de Friedmann, apresentando ao belga o trabalho do falecido colega russo pela primeira vez. Então Einstein repeliu Lemaître dizendo: “Os cálculos dele estão corretos, mas a física é abominável.”

Einstein tivera duas oportunidades de aceitar ou pelo menos considerar o cenário do Big Bang e da expansão, mas rejeitara a idéia nas duas ocasiões. E uma rejeição da parte de Einstein significava uma rejeição da comunidade científica. Na ausência de evidência concreta, a bênção ou a crítica de Einstein tinha o poder de impulsionar ou destruir uma teoria emergente. Einstein, que certa vez fora um símbolo de rebeldia, tinha se tornado um ditador inconsciente. Ele acabou percebendo a ironia de sua posição e uma vez lamentou: “Para me punir pelo meu desprezo pela autoridade, o destino fez de mim uma autoridade.”

Lemaître ficou arrasado pelo que acontecera em Solvay e decidiu não promover mais suas idéias. Ele ainda acreditava no modelo do universo em expansão, mas não tinha influência sobre a comunidade científica e não via utilidade em defender um modelo de Big Bang que todos consideravam tolice. Enquanto isso, o mundo adotava o modelo de universo estático de Einstein — que também era um modelo perfeitamente legítimo, ainda que a constante cosmológica cuidadosamente ajustada fosse uma improvisação. Em todo caso, o universo estático era compatível com a crença predominante num universo eterno, e assim quaisquer imperfeições científicas eram toleradas.

Olhando para trás, podemos ver que ambos os modelos tinham pontos fortes e fracos semelhantes, e estavam em igualdade de condições. Afinal, ambos eram matematicamente coerentes e cientificamente válidos: ambos tinham emergido da fórmula da relatividade geral e não entravam em conflito com nenhuma lei física conhecida. Contudo, ambas as teorias sofriam de uma completa falta de qualquer dado experimental ou observacional para apoiá-las. E era essa ausência de evidência que permitia que a comunidade científica fosse guiada pelo preconceito, favorecendo o modelo estático e eterno de Einstein e desprezando o modelo do Big Bang e da expansão de Lemaître.

Na verdade, os cosmólogos ainda se encontravam naquela terra de ninguém desconfortável entre o mito e a ciência. Se iriam fazer progressos, seria necessário encontrar alguma evidência concreta. E os teóricos voltaram-se para os astrônomos observacionais na esperança de que eles pudessem olhar profundamente no espaço e distinguir entre os modelos em disputa, provando um deles e desmentindo o outro. E os astrônomos, de fato, passariam o resto do século XX construindo telescópios maiores, melhores e mais poderosos, até finalmente conseguirem fazer a observação-chave que transformaria a nossa visão do universo.

## CAPÍTULO 2 – TEORIAS DO UNIVERSO

### RESUMO

1 NA DÉCADA DE 1670, CASSINI PROVOU QUE A LUZ TINHA UMA VELOCIDADE FINITA AO OBSERVAR UMA DAS LUAS DE JÚPITER.

A VELOCIDADE DA LUZ REVELOU SER DE 300.000 KM/S.

2 OS VITORIANOS ACREDITAVAM QUE O UNIVERSO ESTAVA CHEIO DE ÉTER: UM MEIO QUE TRANSPORTAVA A LUZ. A MEDIDA DA VELOCIDADE DA LUZ ERA PENSADA COMO SUA VELOCIDADE EM RELAÇÃO AO ÉTER.



PORTANTO, CONFORME A TERRA SE MOVIA ATRAVÉS DO ESPAÇO, ELA DEVERIA MOVER-SE ATRAVÉS DO ÉTER, DANDO ORIGEM A UM "VENTO DE ÉTER". ASSIM, A VELOCIDADE DA LUZ CONTRA O VENTO DO ÉTER DEVERIA SER DIFERENTE DE SUA VELOCIDADE CRUZANDO O VENTO DE ÉTER.



NA DÉCADA DE 1880, MICHELSON E MORLEY TESTARAM ESTA HIPÓTESE. ELES NÃO ENCONTRARAM NENHUMA EVIDÊNCIA DE UMA DIFERENÇA DE VELOCIDADE E ASSIM DESMENTIRAM A EXISTÊNCIA DO ÉTER.

3 SE A LUZ NÃO VIAJA EM RELAÇÃO AO ÉTER INEXISTENTE, ENTÃO ALBERT EINSTEIN ARGUMENTOU QUE: A VELOCIDADE DA LUZ É UMA CONSTANTE EM RELAÇÃO AO OBSERVADOR. O QUE CONTRADIZ NOSSA EXPERIÊNCIA COM TODAS AS FORMAS DE MOVIMENTO.



ELE ESTAVA CERTO.

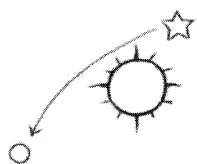


A PARTIR DESSA PRESSUPOSIÇÃO (+ RELATIVIDADE DE GALILEU) EINSTEIN DESENVOLVEU SUA: TEORIA DA RELATIVIDADE ESPECIAL (1905) ELA DIZ QUE O ESPAÇO E O TEMPO SÃO FLEXÍVEIS, FORMAM UMA ÚNICA ENTIDADE UNIFICADA, O ESPAÇO-TEMPO.



EM 1915 EINSTEIN DESENVOLVEU SUA TEORIA DA RELATIVIDADE GERAL. ESTA OFERECERAM UMA NOVA TEORIA DA GRAVIDADE QUE ERA MELHOR QUE A TEORIA DE NEWTON PORQUE TAMBÉM FUNCIONAVA NOS AMBIENTES DE ALTA GRAVIDADE (POR EXEMPLO, NAS ESTRELAS).





4 AS TEORIAS DA GRAVIDADE DE EINSTEIN E NEWTON FORAM TESTADAS ESTUDANDO-SE A ÓRBITA DE MERCÚRIO E O DESVIO DA LUZ EM TORNO DO SOL (1919). EM AMBOS OS CASOS, EINSTEIN ESTAVA CERTO, E NEWTON, ERRADO.

5 COM ESTA NOVA TEORIA DA GRAVIDADE EINSTEIN ESTUDOU O UNIVERSO INTEIRO:

PROBLEMA - A ATRAÇÃO GRAVITACIONAL FARIA TODO O UNIVERSO DESMORONAR.

SOLUÇÃO - EINSTEIN ACRESCENTOU A CONSTANTE COSMOLÓGICA À RELATIVIDADE GERAL.

- ♦ ISSO DAVA ORIGEM A UM EFEITO ANTIGRAVITACIONAL
- ♦ QUE DETERIA O COLAPSO DO UNIVERSO
- ♦ E QUE SE ENCAIXAVA NA VISÃO GERAL DE UM UNIVERSO ESTÁTICO E ETERNO.



6 ENQUANTO ISSO, FRIEDMANN E LEMAÎTRE ABANDONARAM A CONSTANTE COSMOLÓGICA PROPONDO QUE O UNIVERSO DEVERIA SER DINÂMICO.

ELES VISUALIZARAM UM UNIVERSO EM EXPANSÃO.

LEMAÎTRE DESCREVEU UM ÁTOMO PRIMORDIAL, COMPACTO E PODEROSO, QUE EXPLODIU, SE EXPANDIU E EVOLUIU PARA O UNIVERSO ATUAL.

➡ NÓS AGORA CHAMAMOS ISSO DE MODELO BIG BANG DO UNIVERSO.

UNIVERSO DO BIG BANG?  
*VERSUS*  
UNIVERSO ETERNO E ESTÁTICO?

FRIEDMANN, LEMAÎTRE E SEU UNIVERSO EM EXPANSÃO FORAM IGNORADOS. SEM QUALQUER EVIDÊNCIA OBSERVACIONAL PARA APOIÁ-LO, O MODELO DO BIG BANG CAIU NO OSTRACISMO.

A MAIORIA DOS CIENTISTAS CONTINUOU A ACREDITAR EM UM UNIVERSO ETERNO E ESTÁTICO.

## Capítulo 3

---

# O GRANDE DEBATE

---

*O conhecido é finito, o desconhecido é infinito; intelectualmente estamos em uma ilha no meio de um ilimitado oceano de inexplicabilidade. Nossa tarefa, a cada geração, é reclamar um pouco mais de terra.*

T.H. HUXLEY

*Quanto menos se sabe sobre o universo, mais fácil se torna explicá-lo.*

LEON BRUNSCHVICG

*Erros gerados pelo uso de dados inadequados são muito menores do que aqueles que não usam dado algum.*

CHARLES BABAGE

*As teorias desmoronam, mas as boas observações nunca se apagam.*

HARLOW SHAPLEY

*Primeiro consiga os fatos, depois os distorça como quiser.*

MARK TWAIN

*Os céus giram acima de você, exibindo-lhe suas glórias eternas, e no entanto seus olhos permanecem no chão.*

DANTE



A ciência consiste em dois ramos complementares, a teoria e a observação. Enquanto os teóricos analisam como o mundo funciona e constroem modelos da realidade, são os experimentais que testam esses modelos, comparando-os com a realidade. Na cosmologia, teóricos como Einstein, Friedmann e Lemaître tinham desenvolvido modelos rivais do universo, mas testá-los era extremamente problemático: como se faz uma experiência com o universo inteiro?

Quando se chega ao aspecto da realização de experiências, a astronomia e a cosmologia se destacam do resto da ciência. Os biólogos podem tocar, cheirar, cutucar, sondar e até mesmo provar os organismos que estudam. Os químicos podem ferver, queimar e misturar substâncias num tubo de ensaio para aprender mais sobre suas propriedades. E os físicos podem facilmente aumentar a massa de um pêndulo ou variar seu comprimento para investigar por que este oscila de determinado modo. Mas os astrônomos podem apenas olhar, porque a grande maioria dos objetos celestes está tão distante que só podem ser estudados pela detecção dos raios de luz que enviam em direção à Terra. Em lugar de realizar uma ampla variedade de experiências, os astrônomos só podem olhar passivamente para o universo. Em outras palavras, os astrônomos podem olhar, mas não podem tocar.

Apesar dessa limitação severa, eles têm conseguido descobrir uma quantidade extraordinária de fatos sobre o universo e sobre os objetos dentro dele. Por exemplo, em 1967 a astrônoma britânica Jocelyn Bell descobriu um novo tipo de estrela, conhecido como estrela pulsante, ou *pulsar*. Quando viu pela primeira vez o sinal de luz pulsante regular, em uma carta de registros, ela o marcou com as letras “LGM” de “Little Green Men” [“homenzinhos verdes”], porque parecia uma mensagem transmitida por vida inteligente. Hoje em dia, quando

faz palestras sobre os pulsares, a professora Bell Burnell (como é conhecida agora) faz passar pela audiência uma pequena folha de papel dobrada, onde se lê: “Ao pegar este papel você gastou uma energia milhares de vezes maior do que todos os telescópios do mundo já receberam de todos os pulsares conhecidos”. Em outras palavras, os pulsares irradiam energia como qualquer outra estrela, mas estão tão distantes que os astrônomos só captaram uma minúscula quantidade de energia deles durante décadas de intensa observação. Entretanto, embora pareçam tão débeis, os astrônomos conseguiram deduzir vários fatos a respeito dos pulsares. Por exemplo, eles deduziram que os pulsares são estrelas no final de suas vidas, feitas de partículas subatômicas chamadas nêutrons, tipicamente com dez quilômetros de diâmetro e tão densos que uma colher de chá de matéria de um pulsar pesaria 1 bilhão de toneladas.

Só quando o maior número de informações possível for obtido é que os astrônomos podem começar a examinar os modelos apresentados pelos teóricos e testar se são corretos. E, de modo a testar o maior modelo de todos — os modelos competidores do Big Bang e do universo eterno —, os astrônomos tiveram que levar aos limites a sua tecnologia de observação. Eles precisaram construir telescópios gigantes, contendo vastos espelhos e alojados em observatórios do tamanho de enormes armazéns e situados em remotos topos de montanhas. Mas, antes de examinarmos as descobertas feitas pelos maiores telescópios do século XX, temos que olhar primeiro a evolução do telescópio até 1900 e notar como os primeiros instrumentos contribuíram para mudar nossa visão do universo.

## **Olhando para o espaço**

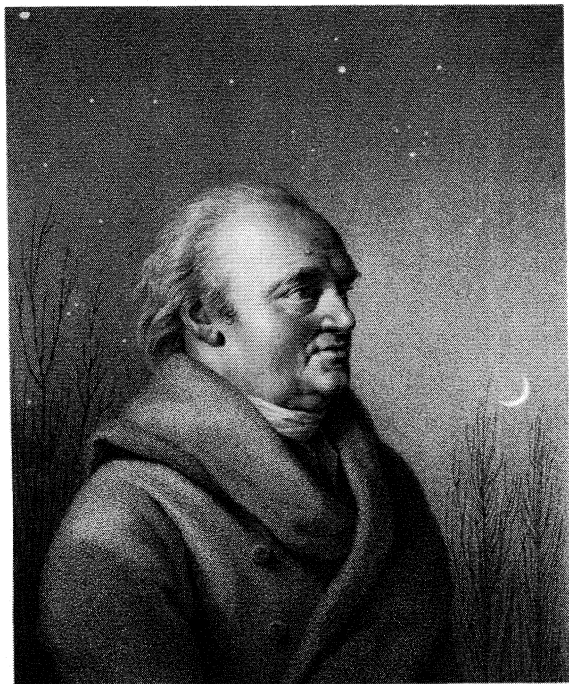
Depois de Galileu, o próximo grande pioneiro na concepção e uso do telescópio foi Friedrich Wilhelm Herschel, nascido em Hanover em 1738. Ele começou sua vida profissional como músico, seguindo seu pai na Guarda Hanoveriana como músico da banda, mas resolveu mudar de carreira durante a batalha de Hastenbeck, em 1757, no auge da Guerra dos Sete Anos. Depois de ficar sob fogo pesado, Herschell resolveu abandonar seu trabalho e seu país em favor de uma vida mais tranqüila como músico no exterior. Ele



escolheu a Inglaterra para morar porque um hanoveriano tinha se sentado no trono inglês como rei Jorge I, em 1714, iniciando a dinastia Hanover, e Herschel achou que seria bem recebido. Mudou seu nome para William Herschel, comprou uma casa em Bath e tinha uma vida confortável como tocador de oboé, compositor, maestro e professor de música. Entretanto, à medida que os anos passavam, Herschel desenvolvia um interesse pela astronomia que evoluiu de um pequeno *hobby* para uma grande obsessão. Acabou por tornar-se um observador de estrelas profissional e seria reconhecido por seus colegas como o maior astrônomo do século XVIII.

Herschel fez sua maior descoberta em 1781, observando de seu jardim e usando um telescópio que ele mesmo tinha construído. Identificou um novo objeto no céu que se movia lentamente ao longo de várias noites. Presumiu que fosse um cometa ainda não descoberto, mas logo ficou claro que o objeto não tinha cauda e era, de fato, um novo planeta, um grande acréscimo ao Sistema Solar. Durante milhares de anos, os astrônomos conheceram apenas os cinco planetas (Mercúrio, Vênus, Marte, Júpiter e Saturno) visíveis a olho nu, mas agora Herschel tinha identificado um mundo inteiramente novo. Ele o chamou de *Georgium Sidus* (a estrela de Jorge) em homenagem ao seu monarca, rei Jorge III, nascido em Hanover como ele. Mas os astrônomos franceses preferiram chamar o novo planeta de Herschel em homenagem ao seu descobridor. No final o planeta acabou batizado com o nome de Urano, o pai de Saturno e avô de Júpiter na mitologia romana.

Trabalhando no quintal dos fundos de sua casa, William Herschel fora bem-sucedido onde os equipados observatórios das cortes européias tinham falhado. Sua irmã Caroline, que trabalhava como sua assistente, cumpriu uma função importantíssima para esse êxito. Embora ela própria fosse uma astrônoma brilhante, tendo descoberto oito cometas durante sua carreira, dedicava-se a ajudar William. Trabalhava ao lado dele durante os dias árduos que ele passou construindo novos telescópios e o ajudava durante as longas noites congelantes de observação. Como ela escreveu, “cada momento de folga era usado avidamente para retomar algum trabalho em andamento, sem ter tempo para mudar de roupa, e muitas rendas foram rasgadas ou salpicadas de piche fervente... Via-me até mesmo na obrigação de alimentá-lo colocando a comida em sua boca.

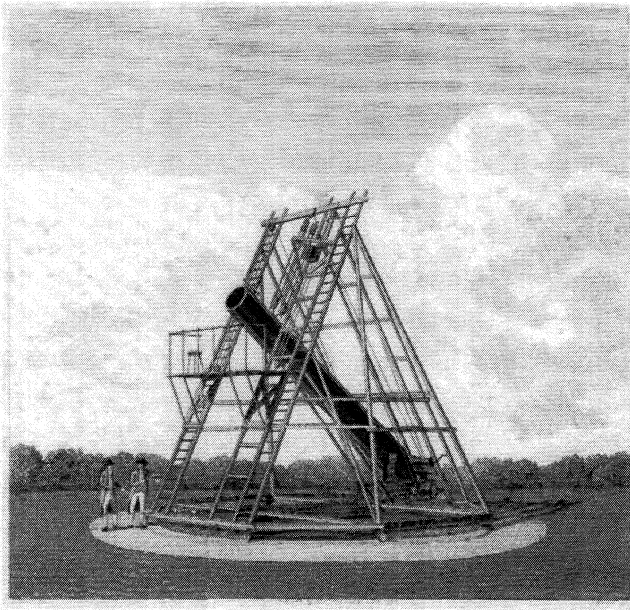


**Figura 32** William Herschel, o astrônomo mais famoso do século XVIII, agasalhado para uma noite de observação.

O piche mencionado por Caroline Herschel era usado por seu irmão na fabricação de ferramentas para polir os espelhos. De fato, William sentia grande orgulho por construir seus próprios telescópios. Como fabricante de telescópios, ele era autodidata e no entanto produzia os melhores telescópios do mundo. Um deles conseguia uma ampliação de 2.010 vezes, enquanto o melhor telescópio do astrônomo real só conseguia uma ampliação de 270 vezes.

Ampliação é um fator benéfico para qualquer telescópio, porém mais importante é a sua capacidade de captar luz, e isso depende inteiramente da *abertura*, o diâmetro do espelho principal ou da lente. Apenas alguns milhares de estrelas são brilhantes o bastante para serem vistas a olho nu, mas um telescópio com uma grande abertura oferece vistas inteiramente novas. Um telescópio muito pequeno, como o que foi usado por Galileu, vai mostrar

estrelas ligeiramente abaixo do limite de visibilidade, mas não mais fracas do que isso, a despeito do poder de ampliação da ocular. Já um telescópio com uma abertura maior vai captar, focalizar e intensificar uma quantidade muito maior de luz estelar, de modo que estrelas mais débeis, mais distantes e de outro modo invisíveis aparecem.



**Figura 33** Depois de descobrir Urano, Herschel mudou-se para Slough, que tinha um clima melhor do que Bath. Ele também estava mais perto de seu patrono, o rei Jorge III, que lhe deu uma pensão anual de 200 libras e financiou seu novo telescópio quebrador de recordes, com 1,2 metro de diâmetro e 12 metros de comprimento.

Em 1789, Herschel construiu um telescópio com um espelho de 1,2 metro que lhe dava a maior abertura em relação a qualquer telescópio existente no mundo. Infelizmente, este tinha 12 metros de comprimento, o que tornava seu manejo tão difícil que um tempo valioso de observação era desperdiçado enquanto o telescópio era manobrado para apontar na direção certa. Outro problema era que o espelho tinha sido reforçado com cobre para suportar o próprio peso, e o resultado é que embaçava rapidamente, anulando seu excelente potencial para coletar luz. Herschel abandonou este

monstro em 1815, e daí em diante passou a usar um telescópio mais modesto para a maioria de suas observações, com uma abertura de 0,475 metro e seis metros de comprimento, um meio-termo entre sensibilidade e praticabilidade.

Um dos principais projetos de pesquisa de Herschel era usar seus telescópios de qualidade superior para medir as distâncias de centenas de estrelas, usando a suposição aproximada de que todas as estrelas emitem a mesma quantidade de luz e o fato de que o brilho diminui com o quadrado da distância. Por exemplo, se uma estrela estiver três vezes mais distante do que outra de mesmo brilho real, então ela vai aparecer com  $1/3^2$  (ou  $1/9$ ) do seu brilho. De modo inverso, Herschel presumiu que uma estrela que aparentasse ter  $1/9$  do brilho de outra estrela estaria aproximadamente três vezes mais distante. Usando Sirius, a estrela mais brilhante do céu noturno, como sua estrela de referência, ele definiu todas as suas medições estelares em termos de múltiplos da distância de Sirius, uma unidade que ele chamou de *siriômetro*. Assim, uma estrela que tenha aparentemente  $1/49$  (ou  $1/7^2$ ) do brilho de Sirius devia estar aproximadamente sete vezes mais distante do que Sirius, ou a sete siriômetros de distância. Embora Herschel estivesse ciente de que todas as estrelas não têm o mesmo brilho e que seu método era portanto inexato, ele continuou confiante de que estava criando um mapa tridimensional dos céus, aproximadamente válido.

Embora seja razoável esperar que as estrelas se distribuam igualmente em todas as direções e em todas as distâncias, os dados de Herschel sugeriam que as estrelas de fato se aglomeram num disco, mais ou menos como uma panqueca redonda e chata. Essa panqueca gigante tinha mil siriômetros de diâmetro e cem siriômetros de espessura. Em lugar de ocupar uma extensão infinita de espaço, as estrelas do universo de Herschel estavam contidas numa comunidade espessa. Um modo de imaginar a distribuição de estrelas é uma panqueca que contenha um salpicado de passas, cada uma representando uma estrela.

Essa visão do universo era completamente compatível com uma das características mais famosas do céu noturno. Se você imaginar que estamos imersos em algum lugar de uma panqueca de estrelas, então vai ver um bocado de estrelas para a esquerda e a direita, à frente e atrás, mas verá poucas

estrelas acima e abaixo porque a panqueca é fina. Daí que, do nosso ponto privilegiado no cosmos, nós deveríamos esperar ver uma concentração de luz estelar em torno de nós — e de fato essa faixa de luz pode ser vista descrevendo um arco no céu noturno (desde que você fique longe das luzes intensas das cidades). Esse aspecto do céu era bem conhecido dos astrônomos antigos. Em latim, essa faixa era chamada de Via Láctea devido a sua aparência leitosa, enevoadada. Embora não fosse aparente para os antigos, a primeira geração de astrônomos equipados com telescópios pôde ver que a faixa leitosa era na verdade uma concentração de estrelas individuais, muito afastadas para serem separadas pelo olho nu. Essas estrelas estão posicionadas em torno de nós no plano da panqueca. Uma vez que o modelo panqueca do universo fora aceito, não demorou para a panqueca de estrelas na qual vivemos ficar conhecida como Via Láctea.

Como a Via Láctea supostamente continha todas as estrelas do universo, o tamanho da Via Láctea era de fato o tamanho do universo. Embora Herschel tivesse estimado que o diâmetro e a espessura da Via Láctea seriam mil siriômetros e cem siriômetros respectivamente, ele morreu em 1822 sem saber quantos quilômetros existiam em um siriômetro. Portanto, ele não tinha idéia do tamanho da Via Láctea em termos absolutos. Converter siriômetros em quilômetros exigia que alguém medisse a distância até Sirius. Um grande passo em direção a tal objetivo aconteceu em 1838, quando o astrônomo alemão Friedrich Wilhelm Bessel se tornou a primeira pessoa a medir a distância até uma estrela.

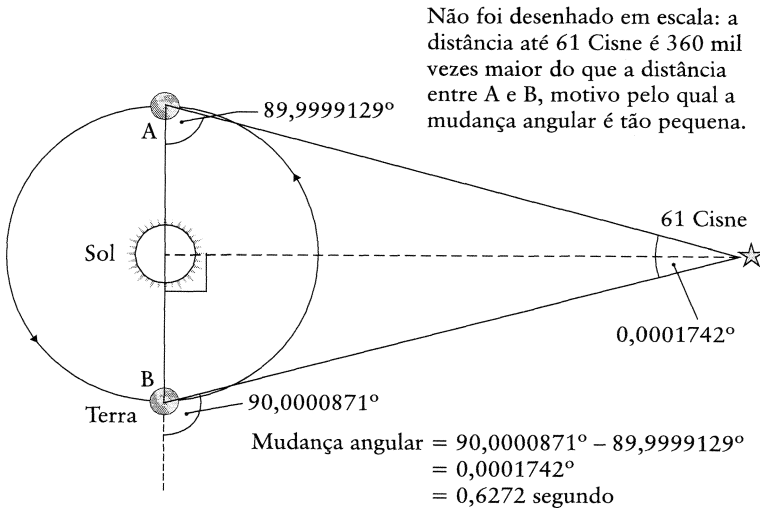
O enigma das distâncias estelares tinha desafiado gerações de astrônomos e sua incapacidade de decifrá-lo fora uma pedra no sapato da teoria de Copérnico de que a Terra orbita o Sol. No capítulo 1, vimos como, se a Terra se move em torno do Sol, então as estrelas deveriam sofrer uma mudança de posições quando vistas de lados opostos do Sol, num intervalo de seis meses, um efeito conhecido como paralaxe. Lembre-se que, se você erguer um dedo e olhar para ele com um dos olhos, então mudar seu ponto de vista trocando a visão para o outro olho, o dedo parecerá deslocar-se em relação ao cenário atrás. É uma regra: se o ponto de observação muda, o objeto observado parece deslocar-se. Contudo, as estrelas pareciam fixas, um fato usado por aqueles que acreditavam num universo centrado na Terra para respaldar sua

crença em uma Terra fixa. Os defensores do universo centrado no Sol contra-atacavam dizendo que o efeito do paralaxe estelar se reduz com a distância e, assim, uma mudança imperceptível nas posições das estrelas poderia significar apenas que elas estavam incrivelmente distantes.

Os esforços de Friedrich Bessel para colocar números concretos na imprecisa frase “incrivelmente distante” começaram em 1810, quando o rei da Prússia, Frederico Guilherme III o convidou para construir um novo observatório em Königsberg. Ele iria alojar os melhores instrumentos astronômicos da Europa, em parte porque o primeiro-ministro britânico, William Pitt, tinha sufocado a indústria do vidro em seu país com impostos, permitindo que a Alemanha assumisse a liderança na manufatura de telescópios na Europa. As lentes alemãs eram criadas com esmero, e uma nova disposição de ocular com lente tripla reduzia o problema da *aberração cromática*, uma dificuldade na focalização derivada do fato de que a luz branca é uma combinação de cores e cada uma delas é desviada de modo diferente pelo vidro.

Depois de passar 28 anos em Königsberg, refinando e aperfeiçoando suas observações, Bessel afinal fez a sua descoberta crucial. Levando em consideração cada erro concebível e fazendo observações minuciosas, com seis meses de diferença, ele conseguiu declarar que uma estrela chamada 61 Cisne tinha mudado sua posição por um ângulo de 0,6272 segundo de arco, aproximadamente 0,0001742 grau. Essa paralaxe detectada por Bessel era minúscula — o que equivale ao que você perceberia se mudasse de um olho para o outro enquanto olhava para seu dedo indicador, no final do braço estendido... se seu braço tivesse trinta quilômetros de comprimento!

A figura 34 mostra o princípio das medições de Bessel. Quando ele observou 61 Cisne da Terra, na posição A, fez isso ao longo de uma linha de mira. Seis meses depois, quando observou a estrela com a Terra na posição B, percebeu que a linha de mira tinha mudado ligeiramente. O triângulo reto formado pelo Sol, 61 Cisne e a Terra permitiu que ele usasse a trigonometria para estimar a distância até a estrela, porque ele já conhecia a distância Terra-Sol e agora conhecia o ângulo num dos vértices do triângulo. As medições de Bessel implicavam que a distância a 61 Cisne era  $10^{14}$  quilômetros (100 trilhões de quilômetros). Agora sabemos que essa medida estava aproximadamente 10% muito curta, porque as estimativas modernas



**Figura 34** Em 1838, Friedrich Bessel fez a primeira medição de uma paralaxe estelar. À medida que a Terra orbita o Sol e se move do ponto A para o ponto B, assim uma estrela próxima (exemplo, 61 Cisne) aparece em posições ligeiramente diferentes quando vista de A e de B. A distância a 61 Cisne pode ser medida pela trigonometria simples. O ângulo agudo no triângulo reto  $= (0,0001742^\circ \div 2)$  ou  $0,0000871^\circ$  e o lado mais curto do triângulo é a distância Terra-Sol.

Daí que Bessel estimou que a distância até 61 Cisne era de, aproximadamente 100.000.000.000.000 km, e agora nós sabemos que é de 108.000.000.000.000 km.

O quilômetro é uma unidade muito pequena de medida para distâncias estelares, por isso os astrônomos preferem o *ano-luz* como unidade de comprimento, definida como a distância percorrida pela luz em um ano. Um ano contém 31.557.600 segundos e a luz viaja a 299.792 km/s, assim

$$\begin{aligned}
 1 \text{ ano-luz} &= 31.557.600\text{s} \times 299.792 \text{ km/s} \\
 &= 9.460.000.000.000 \text{ km}
 \end{aligned}$$

Isso significa que a 61 Cisne encontra-se a 11,4 anos-luz da Terra. O ano-luz nos lembra que os telescópios agem como máquinas do tempo. Como a luz leva um tempo finito para percorrer qualquer distância, nós só podemos ver os corpos celestes como eles eram no passado. Leva oito minutos para a luz do Sol chegar até nós, assim, só vemos o Sol como ele era há oito minutos. Se o Sol explodisse subitamente, levaria oito minutos para ficarmos sabendo. A estrela 61 Cisne, mais distante, está a 11,4 anos-luz de distância, assim a vemos apenas como era há 11,4 anos. Quanto mais longe os telescópios nos permitem olhar o universo, mais para trás no tempo estamos vendo.

estabelecem a distância a 61 Cisne como  $1,08 \times 10^{14}$  quilômetros, ou 720 mil vezes mais distante do que o Sol. Como explicado na legenda da figura 34, isso equivale a 11,4 anos-luz.

Os copernicanos estavam certos. As estrelas se movem, e os “saltos” estelares haviam ficado imperceptíveis até então porque as estrelas estão incrivelmente distantes. Ainda que os astrônomos soubessem que as estrelas tinham que estar muito longe, ficaram chocados com a distância a 61 Cisne, sobretudo levando-se em consideração que é uma das estrelas mais próximas da Terra. Para colocar esse valor em perspectiva, se o universo fosse miniaturizado de modo que nosso Sistema Solar, tudo do Sol até as regiões externas da órbita de Plutão, pudesse ser espremido para caber dentro de uma casa, então as nossas estrelas vizinhas estariam a dezenas de quilômetros de distância. Ficou claro que a nossa Via Láctea tinha uma população muito dispersa.

Os contemporâneos de Bessel elogiaram sua realização. O físico e astrônomo alemão Wilhelm Olbers disse que “pela primeira vez ele deu uma base sólida para nossas idéias sobre o universo”. De modo semelhante, John Herschel, filho de William Herschel, que se tornara astrônomo famoso como o pai, considerou o resultado “o maior e mais glorioso triunfo que a astronomia prática já testemunhou”.

Não apenas os astrônomos agora sabiam a distância até 61 Cisne, como também poderiam estimar o tamanho da Via Láctea. Comparando-se o brilho da 61 Cisne com o de Sírius, era possível fazer uma conversão aproximada do siriômetro de William Herschel para anos-luz. E, portanto, os astrônomos estimaram que a Via Láctea tinha 10 mil anos-luz de largura e mil anos-luz de espessura. De fato, eles estavam subestimando as dimensões da Via Láctea por um fator de dez, e nós hoje sabemos que a Via Láctea tem 100 mil anos-luz de largura e 10 mil anos-luz de espessura.

Eratóstenes ficara chocado quando mediu a distância ao Sol, e Bessel fora abalado pela distância até as estrelas mais próximas, mas o tamanho da Via Láctea era de fato atordoante. E ao mesmo tempo os astrônomos percebiam que até a vastidão da Via Láctea era insignificante comparada à presumível infinidade do universo. Não nos surpreende que alguns cientistas comesçassem a se perguntar o que estava acontecendo no espaço



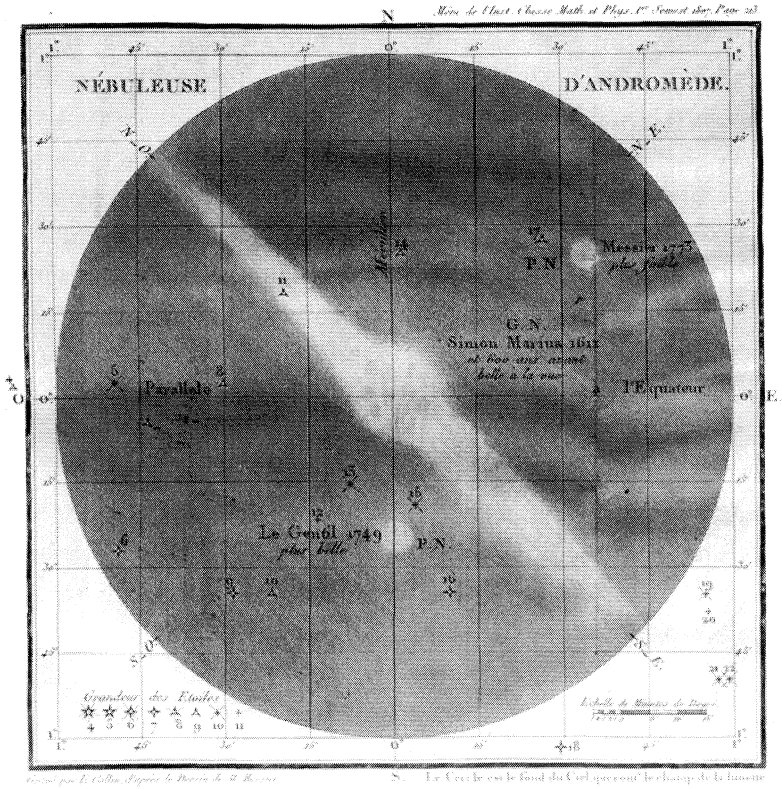
além da Via Láctea. Seria ele completamente vazio ou povoado por outros objetos?

A atenção voltou-se para as nebulosas, curiosos borrões de luz no céu noturno que pareciam muito diferentes dos pontos de luz das estrelas. Alguns astrônomos sugeriram que esses objetos misteriosos estavam espalhados pelo universo. Entretanto a maioria acreditava que fossem entidades mais mundanas dentro de nossa Via Láctea. Afinal, William Herschel havia sugerido que tudo estava dentro da nossa Via Láctea em forma de panqueca.

O estudo das nebulosas remonta aos astrônomos antigos, que tinham localizado um punhado de nebulosas a olho nu, mas a invenção do telescópio revelou um número surpreendentemente grande delas. O primeiro a criar um catálogo detalhado de nebulosas foi o astrônomo francês Charles Messier, que começou a trabalhar nesse projeto em 1764. Anteriormente, ele fora muito bem-sucedido ao rastrear cometas, motivo pelo qual o rei Luís XV o apelidou de Caçador de Cometas. Mas Messier era continuamente frustrado porque, à primeira vista, era fácil confundir um cometa com uma nebulosa, já que os dois objetos aparecem como pequenas manchas de luz no céu. Os cometas se movem e acabam revelando sua natureza, mas Messier queria fazer uma lista das nebulosas de modo a não perder tempo olhando para um objeto estático à espera de que se movesse. Ele publicou um catálogo de 103 nebulosas em 1781 e hoje em dia esses objetos ainda são citados pelos seus *números de Messier*; por exemplo, a nebulosa do Caranguejo é M1, e a nebulosa de Andrômeda é M31. O desenho que Messier fez da nebulosa de Andrômeda aparece na figura 35.

Quando recebeu uma cópia do Catálogo de Messier, William Herschel voltou sua atenção para as nebulosas, usando seus telescópios gigantes para fazer uma busca exaustiva no céu. Herschel foi bem além de Messier e registrou um total de 2.500 nebulosas, e durante sua pesquisa começou a especular sobre sua natureza.

Como elas pareciam nuvens (*nebula* quer dizer “nuvem” em latim), ele acreditou que fossem de fato vastas nuvens de gás e poeira. Mais especificamente, Herschel podia discernir uma única estrela dentro de algumas dessas nuvens, assim sugeriu que as nebulosas fossem estrelas jovens cercadas por resíduos, e esses resíduos estariam em vias de formar planetas. Por tudo que



**Figura 35** Depois de duas décadas de observações, Charles Messier publicou um catálogo de 103 nebulosas em 1781. Seu desenho detalhado da nebulosa de Andrômeda é a 31ª entrada em seu catálogo, e ilustra a diferença entre uma nebulosa, que tem uma estrutura extensa definida, e uma estrela, que aparece como um ponto de luz.

via, Herschel acreditou que essas nebulosas fossem estrelas numa fase inicial de suas vidas, e, como todas as outras estrelas, existiam dentro do reino da Via Láctea.

Enquanto Herschel acreditava que a Via Láctea era o único aglomerado de estrelas em todo o universo, o filósofo alemão do século XVIII, Immanuel Kant, tomou um ponto de vista oposto e afirmou que pelo menos algumas nebulosas eram grupos independentes de estrelas, semelhantes à Via Láctea em tamanho, mas muito além de seus limites. De acordo com Kant, o motivo de as nebulosas parecerem nuvens era porque continham milhões de estrelas e estavam tão distantes que as estrelas se misturavam numa névoa de

luz. Para respaldar seu ponto de vista, ele notou que a maioria das nebulosas tinha uma aparência elíptica, que é exatamente o que se esperaria se elas tivessem a mesma estrutura de panqueca redonda da Via Láctea. Embora a Via Láctea se pareça com um disco circular, se vista de cima, e uma linha fina quando vista de lado, ela pareceria elíptica quando vista de um ângulo intermediário. Kant chamou as nebulosas de “mundos-ilhas”, porque visualizava o universo como um oceano de espaço povoado por ilhas de estrelas. E nossa Via Láctea era apenas uma dessas ilhas de estrelas. Hoje, chamamos esses sistemas isolados de estrelas de *galáxias*.

Embora a atração que Kant sentia pela idéia das nebulosas como galáxias além da Via Láctea tivesse uma base observacional, ele também tinha um argumento teológico para a sua crença. Ele argumentava que Deus era onipotente, assim o universo seria ao mesmo tempo eterno e infinitamente rico em conteúdo. Para Kant, parecia absurdo que a criação de Deus fosse limitada à Via Láctea finita:

Não chegaremos mais perto da infinitude do poder criativo de Deus se limitarmos o espaço de sua revelação a uma esfera descrita pelo raio da Via Láctea, em vez de a limitarmos a uma bola de uma polegada de diâmetro. Tudo que for finito, quaisquer que sejam seus limites e sua relação definida com a unidade, será igualmente distante do infinito... Por esse motivo o campo da revelação dos atributos divinos deve ser tão infinito quanto esses atributos. A eternidade não é suficiente para abarcar as manifestações do Ser Supremo se não for combinada com a infinitude do espaço.

As linhas para a batalha tinham sido definidas. Os defensores de Herschel afirmavam que as nebulosas eram estrelas jovens cercadas por nuvens de resíduos e situadas dentro da Via Láctea, enquanto os seguidores de Kant sustentavam que elas eram galáxias, sistemas estelares independentes muito além da Via Láctea. A chave para decidir a disputa era a obtenção de melhores indícios observacionais, e estes começaram a aparecer em meados do século XIX, graças ao extraordinário William Parsons, o terceiro conde de Rosse.

Tendo se casado com uma rica herdeira e herdado o castelo de Birr, situado em uma grande propriedade na Irlanda, lorde Rosse teve a felicidade de poder dedicar a vida a ser um cavalheiro cientista. Ele estava determinado a construir os maiores e melhores telescópios do mundo e não tinha medo de sujar as mãos. Como escreveu um repórter do *Bristol Times*:

Eu vi o conde, o construtor de telescópios, não em seu castelo com sua coroa e seu manto de arminho, mas de camisa, com as mangas arregaçadas. Ele tinha acabado de deixar o torno, no qual estivera trabalhando e, salpicado de limalha metálica, lavava o rosto e as mãos em uma bacia de metal colocada em cima de uma bigorna, enquanto um par de ferreiros malhava uma barra de metal incandescente, lançando uma chuva de faíscas sobre seu senhor, sem que ele se importasse, como se fosse um rei do Fogo.

A simples tarefa de fundir o espelho de um telescópio gigante era em si um grande feito de engenharia. Foram necessários oitenta metros cúbicos de turfa para derreter os ingredientes do espelho de três toneladas, que media 1,8 metro de diâmetro. O dr. Thomas Romney Robinson, diretor do Observatório de Armagh, testemunhou a fundição:

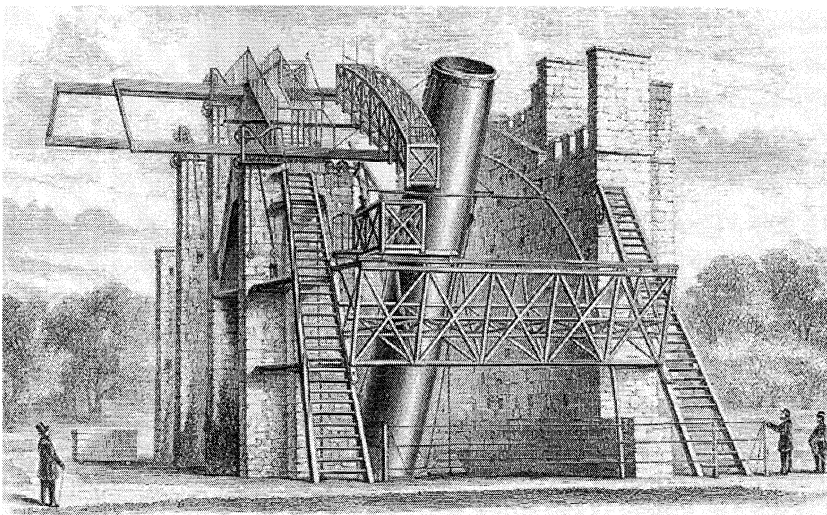
A sublime beleza jamais será esquecida por aqueles que tiveram a sorte de estar presentes. Acima estava o céu, crivado de estrelas e iluminado pela Lua mais brilhante, parecendo vigiar suspeitosamente o trabalho. Abaixo os fornos lançavam enormes colunas de chama amarela, quase monocromática, e os cadinhos inflamados, em sua passagem pelo ar, eram fontes de luz vermelha.

Em 1845, depois de três anos de construção e tendo gastado o equivalente a 1 milhão de libras de seu próprio dinheiro, lorde Rosse completou a construção de seu telescópio gigante, com 16,5 metros de comprimento (mostrado na figura 36), e começou a fazer suas observações. Isso coincidiu com a Fome da Batata na Irlanda, uma tragédia que Rosse tentara evitar quando defendera novas técnicas de cultivo que teriam reduzido o risco da ferrugem nas batatas. Ele rapidamente interrompeu sua pesquisa do céu e dirigiu seu tempo e recur-

sos para apoiar a comunidade local. Também se recusou a aceitar o aluguel de seus inquilinos e conquistou uma reputação de político enérgico que defendeu a população rural naquele período negro da história irlandesa.

Quando lorde Rosse retomou a pesquisa do céu, vários anos depois, passou a fazer suas observações empoleirado precariamente nos andaimes que cercavam seu magnífico telescópio. Ele tinha que manter o equilíbrio enquanto cinco empregados faziam funcionar as manivelas, roldanas e polias que erguiam o telescópio até a altura certa. Lorde Rosse e sua equipe lutavam com esse monstro noite após noite, motivo pelo qual ele foi apelidado de Leviatã de Parsonstown.

Rosse teve seus esforços recompensados com espetaculares vistas do céu noturno. Johnstone Stoney, assistente de Rosse, verificou a qualidade do telescópio apontando-o para estrelas muito débeis: “Essas estrelas ficam brilhantes no grande telescópio. Elas aparecem geralmente como bolas de luz, como pequenas ervilhas, fervendo violentamente em consequência da agitação atmosférica... o teste ficou muito perto, de fato, da perfeição teórica”.



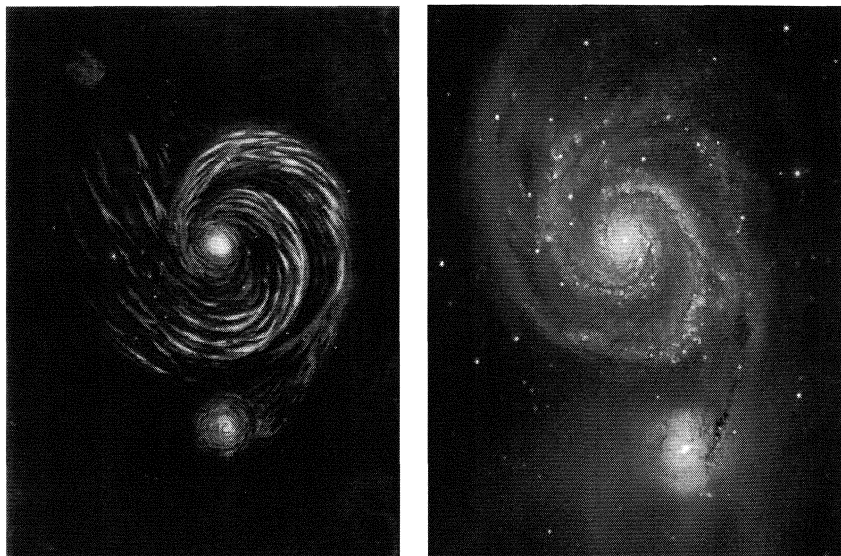
**Figura 36** O “Leviatã de Parsonstown” de lorde Rosse, com uma poderosa abertura de 1,8 metro, era o maior telescópio do mundo ao ser construído. Parsonstown era o nome anterior de Birr, cidade onde o telescópio ficava situado.

O único problema era que o Leviatã estava situado no meio da Irlanda, que não tem uma reputação de céus claros e sem nuvens. Além da “neblina dos pântanos”, dizia-se existirem dois tipos de clima, “um pouco antes da chuva” e “a chuva”. Em uma ocasião o paciente lorde escreveu para sua esposa explicando: “O tempo aqui ainda é vergonhoso mas não absolutamente repulsivo.”

De algum modo, por entre as nuvens, Rosse conseguiu fazer observações extraordinariamente detalhadas das nebulosas. Em lugar de aparecerem como borrões sem forma, as nebulosas começaram a mostrar que tinham uma estrutura interna distinta. A primeira a sucumbir ante o poder do Leviatã foi a M51 na lista de Messier, que se tornou o tema de um desenho assombrosamente detalhado feito por Rosse e mostrado na figura 37. Ele pôde discernir facilmente que a M51 tinha uma estrutura espiral. Em particular, notou um minirredemoinho no final de um dos braços espirais, motivo pelo qual a M51 às vezes era chamada de nebulosa do Ponto de Interrogação de Rosse. O desenho ficou tão popular na Europa que até mesmo se sugeriu que ele teria inspirado o quadro *Noite estrelada*, de Vincent Van Gogh, que parece mostrar a nebulosa espiral com seu redemoinho.

E a semelhança com o redemoinho deu à M51 seu outro apelido, nebulosa do Redemoinho. O que também levou Rosse a uma conclusão óbvia: “Parece extremamente improvável que tal sistema possa existir, sem movimento interno.” Ele também acreditava que a massa rodopiante era mais do que apenas uma nuvem gasosa. “Observamos que, para cada aumento do poder óptico do instrumento, a estrutura torna-se mais complexa... A própria nebulosa, contudo, está crivada de estrelas.”

Tornava-se claro que pelo menos algumas nebulosas eram aglomerados de estrelas, mas isso não provava necessariamente a teoria de Kant de que as nebulosas eram galáxias equivalentes e independentes de nossa própria Via Láctea. Tais nebulosas teriam que ser vastas, distintas e remotas, mas talvez a nebulosa do Redemoinho fosse um subgrupo de estrelas relativamente pequeno e situado dentro ou na borda da Via Láctea. A questão crítica era a distância. Se alguém, de algum modo, pudesse medir a distância até as nebulosas, ficaria fácil decidir se elas estavam dentro da Via Láctea, perto da Via Láctea ou além da Via Láctea. Mas a paralaxe, a melhor técnica para medi-



**Figura 37** O desenho de lorde Rosse da nebulosa do Redemoinho (M51) ao lado de uma imagem moderna, obtida no Observatório de La Palma, que mostra o poder do telescópio de Rosse e a precisão de sua observação.

ção de distâncias, não podia ser aplicada às nebulosas. Afinal, era quase impossível medir os deslocamentos angulares das estrelas mais próximas, de modo que identificar qualquer deslocamento angular associado a uma nebulosa enevoadada na borda da Via Láctea — ou talvez muito mais distante — estava fora de questão. A natureza das nebulosas permaneceu no limbo.

À medida que as décadas passavam, os astrônomos investiam mais e mais na construção de telescópios cada vez mais poderosos e situados em locais muito altos, agraciados com céus sem nuvens (ao contrário da Irlanda). Embora houvesse outras questões em suas agendas, os astrônomos estavam particularmente ansiosos para descobrir a verdadeira identidade das nebulosas, se não medindo sua distância, pelo menos encontrando algum outro indício vital que revelaria sua natureza.

O próximo grande mestre da construção de telescópios foi o excêntrico milionário George Ellery Hale, que se tornou mais obcecado do que lorde Rosse. Hale nasceu em 1868, no número 236 da rua North LaSalle em Chicago, e em 1870 a família mudou-se para o subúrbio de Hyde Park, bem a

tempo de escapar do Grande Incêndio de Chicago em 1871, que consumiu 18 mil prédios, incluindo sua antiga casa. A cidade tornou-se um quadro em branco para os arquitetos, e o prédio de nove andares da Home Insurance transformou-se no primeiro arranha-céu do mundo, estabelecendo uma nova tendência para as construções de Chicago e de muitas outras cidades americanas. O pai de Hale, William, fora anteriormente um vendedor esforçado, mas teve a esperteza de conseguir um empréstimo e criar uma companhia para fornecer os elevadores necessários para os arranha-céus de Chicago. Mais tarde ele até construiu um elevador para a Torre Eiffel.

A família ficou rica e capaz de incentivar o interesse do jovem George por microscópios e telescópios. Eles não sabiam que esse fascínio infantil se transformaria em uma obsessão adulta. De fato, Hale tornou-se um construtor de telescópios gigantes. Seu primeiro grande projeto surgiu quando ele adquiriu algumas lentes excedentes de astrônomos da Costa Oeste, que tinham abandonado seus planos de construir um telescópio. A ambição de Hale era incorporar essas lentes a um telescópio refrator de quarenta polegadas (um metro) de diâmetro. Ele também queria construir todo o complexo do observatório em torno desse telescópio.

Hale procurou o financiamento para seu novo telescópio e observatório com Charles Tyson Yerkes, magnata dos transportes que fizera fortuna construindo o sistema de ferrovia elevada de Chicago, que ainda serve à cidade hoje em dia. Yerkes também não tinha uma boa reputação, e Hale procurou persuadi-lo de que o patrocínio de um observatório astronômico o ajudaria a tornar-se mais aceito na alta sociedade de Chicago. Também explorou a vaidade de Yerkes lembrando que o rico investidor James Lick tinha financiado o Observatório Lick, na Califórnia. Ele começou a incentivar Yerkes com a frase “Lick the Lick” [Vença o Lick] porque o novo telescópio seria maior do que qualquer um do Observatório Lick.

Dobrado pela campanha incansável de Hale, Yerkes cedeu meio milhão de dólares e o Observatório Yerkes nasceu como parte da Universidade de Chicago. Depois da cerimônia de doação, um jornal colocou uma manchete destacando o novo *status* do pária: YERKES ENTRA NA SOCIEDADE. Infelizmente para Yerkes, a manchete era superotimista. Ele não conseguiu ser aceito pela elite de Chicago e mudou-se para Londres, onde desempenhou um pa-



pel fundamental na construção do sistema de trens subterrâneos, principalmente a linha de Piccadilly.

O Observatório Yerkes estava situado a 120 quilômetros ao norte de Chicago, perto da comunidade de Williams Bay. A iluminação da cidade ainda era feita com velas e lâmpadas de querosene, assim os astrônomos sabiam que a fraca luz celestial não seria poluída por lâmpadas elétricas brilhantes. Até mesmo o balneário de Lake Geneva, a comunidade mais próxima com luz elétrica, ficava a uma distância segura de dez quilômetros. O telescópio, com vinte metros de comprimento e pesando seis toneladas, foi concluído em 1897. Era guiado por vinte toneladas de maquinaria, especialmente projetada para apontar o telescópio na direção certa e então sincronizá-lo suavemente com a rotação da Terra. Desse modo, a estrela ou nebulosa sob inspeção permaneceria no campo de visão do instrumento. Era, e ainda é, o maior telescópio de seu tipo no mundo.

Hale, entretanto, não estava satisfeito. Uma década depois ele levantou dinheiro do Instituto Carnegie e estendeu os limites da engenharia ainda mais, construindo um telescópio de sessenta polegadas (1,5 metro) em Monte Wilson, perto de Pasadena, na Califórnia. Dessa vez ele usaria um espelho no lugar de uma lente, já que uma lente de sessenta polegadas vergaria sob seu próprio peso. Hale descreveu seu desejo por telescópios maiores, mais largos e mais sensíveis como um sintoma de “americanite”, uma ambição insaciável por ser o melhor. Infelizmente, a busca compulsiva de Hale pela perfeição e a responsabilidade em gerenciar grandes projetos tornaram-se autodestrutivas. Como resultado da tensão constante, ele passou a sofrer períodos de psicose, que acabaram levando-o a passar vários meses em um sanatório no Maine.

Sua saúde mental deteriorou ainda mais depois que ele embarcou num terceiro projeto, um telescópio de cem polegadas (2,5 metros) em Monte Wilson. Como base para seu espelho, Hale encomendou um disco de vidro de cinco toneladas feito na França, que os jornais chamaram de a mercadoria mais valiosa que já cruzara o Atlântico. Quando chegou, entretanto, a equipe de Hale ficou preocupada com a força e a qualidade óptica do vidro, que se revelou cheio de pequenas bolhas de ar. Evelina Hale, testemunhando o sofrimento causado a seu marido por este último projeto, passou a



**Figura 38** Andrew Carnegie e George Ellery Hale em Monte Wilson, em 1910, do lado de fora da cúpula contendo o telescópio de sessenta polegadas. O milionário Carnegie (à esquerda) se postou colina acima para parecer mais alto — um artifício que ele usava com frequência quando era fotografado com outros.

odiar a lente gigante que o atormentava e desejar “que aquele vidro estivesse no fundo do mar”.

O projeto parecia condenado ao fracasso, e durante os períodos de pressão extrema Hale tinha alucinações e recebia visitas de um duende verde, que logo se tornaria a única pessoa a quem ele confidenciaria seus planos para o telescópio. O duende costumava ser simpático, mas ocasionalmente zombava dele. Hale lamentou para um amigo: “Como escapar dessa nova forma de tormento, que é incessante, eu não sei.”

Financiado pelo magnata das ferragens de Los Angeles John Hooker, o telescópio de cem polegadas acabou sendo concluído em 1917. Na noite de 1º de novembro, Hale teve a honra de ser a primeira pessoa a olhar pela ocular — e ficou chocado de ver Júpiter sobreposto por seis planetas-fantasmas. A culpa pelo defeito óptico foi imediatamente atribuída às bolhas no

vidro, mas as mentes mais calmas apresentaram uma teoria alternativa. Os trabalhadores tinham deixado o teto do observatório aberto naquele dia, enquanto completavam a instalação, de modo que a luz do sol aquecera o espelho, que provavelmente ficara distorcido. Os astrônomos fizeram uma pausa até as três da madrugada, esperando que o período de resfriamento resolvesse o problema. No frio da noite, a visão seguinte que Hale teve dos céus foi mais clara do que qualquer observação anterior na história. O telescópio Hooker conseguiu revelar nebulosas que anteriormente estavam muito fracas para aparecerem em qualquer outro telescópio. Ele era tão sensível que podia detectar uma vela a uma distância de 15 mil quilômetros.

Hale ainda não estava satisfeito. Motivado pelo seu princípio de “mais luz!”, começou a trabalhar num telescópio de duzentas polegadas (cinco metros). Sua obsessão tornou-se famosa e mais tarde seria imortalizada pela televisão num episódio do seriado *Arquivo X*. Mulder explica para Scully que um duende deu conselhos a Hale sobre como levantar o dinheiro para o telescópio: “Na verdade, a idéia foi apresentada a Hale uma noite em que ele estava jogando bilhar. Um duende subiu na janela e lhe disse que conseguisse o dinheiro para o telescópio com a Fundação Rockefeller”. Scully então comenta que Mulder deve ficar tranqüilo em saber que não é o único a ver duendes verdes, mas Mulder responde: “No meu caso são homenzinhos verdes.”

Por azar, Hale não viveria para ver o projeto do telescópio de duzentas polegadas ser concluído. Mas conseguiu testemunhar o impacto de seus telescópio de quarenta, sessenta e cem polegadas, cada um dos quais aumentou o número, a riqueza e a variedade das nebulosas. Contudo, a localização exata desses objetos permanecia um mistério. Seriam parte de nossa própria galáxia da Via Láctea, ou seriam galáxias distantes?

O assunto recebeu destaque em abril de 1920, quando a Academia Nacional de Ciências de Washington planejou apresentar o que ficaria conhecido como o Grande Debate. A Academia decidiu que deveria apresentar os dois campos opostos sobre a natureza das nebulosas diante dos maiores cientistas da época. O ponto de vista de que a Via Láctea contém todo o universo, incluindo as nebulosas, era defendido pelos astrônomos do Observatório de Monte Wilson, e eles enviaram como representante um jovem e

ambicioso astrônomo, Harlow Shapley. O ponto de vista oposto, de que as nebulosas são galáxias, era popular no observatório Lick, que mandou Heber Curtis para defender sua posição.

Por acaso, os dois astrônomos rivais acabaram viajando no mesmo trem da Califórnia para Washington. Foi uma jornada desagradável e desconfortável — dois astrônomos com pontos de vista totalmente opostos presos em um vagão de trem durante 4 mil quilômetros, cada um tendo cuidado para não iniciar prematuramente um debate que estava programado para mais tarde. E a situação foi tornada pior por suas personalidades contrastantes.

Curtis tinha uma aura de superioridade e a reputação de ser um astrônomo eminente, bem conhecido por falar com autoridade e confiança. Esperava com satisfação pelo duelo programado. Em contraste, Shapley estava nervoso e intimidado. Fora criado como filho de um fazendeiro pobre, que cultivava feno no Missouri e tropeçara na astronomia mais por sorte do que por escolha. Quando adolescente, quis estudar jornalismo no ginásio, mas o curso foi cancelado e ele teve que procurar um novo tema: “Abri o catálogo de cursos e o primeiro a ser oferecido era a-r-q-u-e-o-l-o-g-i-a, e eu nem consegui pronunciar isso!... Virei a página e vi a-s-t-r-o-n-o-m-i-a; isso eu podia pronunciar e aqui estou!”

No ano do grande debate, Shapley já conseguira se estabelecer como membro de uma nova geração promissora de astrônomos, mas ainda se sentia na sombra de Curtis e ficou feliz por escapar da personalidade intimidante de seu oponente quando o trem da Southern Pacific quebrou no Alabama. Shapley passou o tempo andando pelos trilhos à procura de formigas, que vinha colecionando e estudando havia anos.

Quando a noite do Grande Debate finalmente chegou, os nervos de Shapley pioraram durante a longa cerimônia de premiação que antecedeu o evento. As citações em honra dos vencedores e os discursos de agradecimento pareciam intermináveis. E não havia nem mesmo uma gota de vinho para alegrar a noite, já que a Lei Seca fora estabelecida no início daquele ano. Na audiência, Albert Einstein sussurrou para um vizinho: “Acabo de bolar uma nova teoria da Eternidade.”

Finalmente o Grande Debate começou no palco. Principiou com Shapley defendendo a idéia de que as nebulosas estavam dentro da Via Láctea. Em

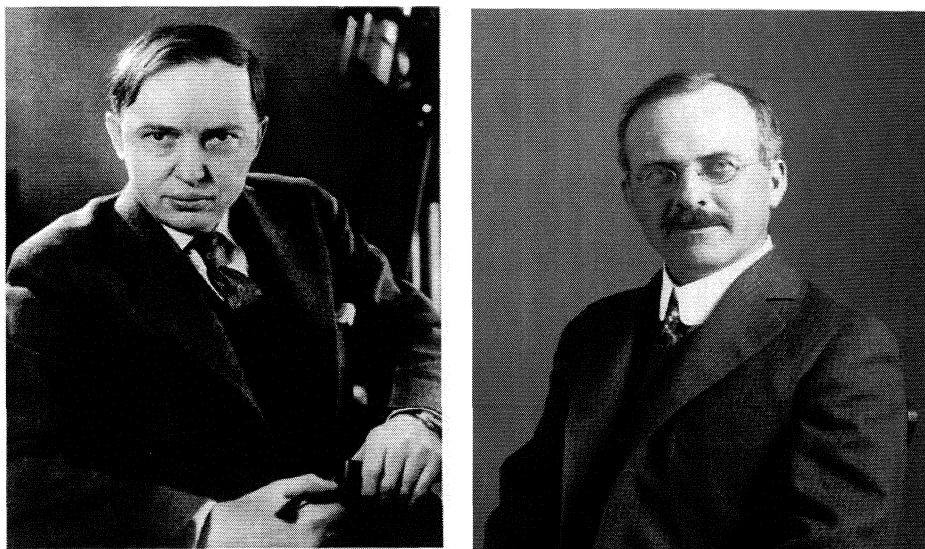


Figura 39 Os dois principais protagonistas do Grande Debate: o jovem Harlow Shapley (à esquerda), que acreditava que as nebulosas ficavam dentro da galáxia da Via Láctea; e Heber Curtis, mais velho, que defendeu a tese de que as nebulosas eram galáxias independentes, muito além da Via Láctea.

sua apresentação, ele se respaldou em duas evidências. Em primeiro lugar, falou sobre a distribuição das nebulosas. Costumavam ser encontradas acima do plano da Via Láctea, em forma de panqueca, mas raramente dentro do próprio plano, uma faixa que ficou conhecida como *zona vaga*. Shapley explicou essa situação afirmando que as nebulosas eram nuvens de gás que atuavam como berçários para estrelas e planetas recém-nascidos. Ele acreditava que tais nuvens existiam somente nas partes superiores e inferiores da Via Láctea, deslizando em direção ao plano central à medida que as estrelas e planetas amadureciam. Assim ele podia explicar a zona vaga em termos de a Via Láctea ser a única galáxia. Então ele se voltou para seus oponentes e afirmou que a zona vaga era incompatível com o modelo de universo deles: se as nebulosas representavam galáxias espalhadas através de todo o universo, elas deveriam aparecer em todas as direções da Via Láctea.

A segunda evidência apresentada por Shapley era uma nova que tinha aparecido na nebulosa da Andrômeda em 1885. Uma nova não é, como o

nome sugere, uma nova estrela. Trata-se de uma estrela muito fraca que subitamente aumenta de brilho alimentada por material roubado de uma estrela companheira. A nova de 1885 tinha 1/10 do brilho de toda a nebulosa de Andrômeda, o que era perfeitamente aceitável se toda a nebulosa de Andrômeda fosse apenas um punhado de estrelas situadas dentro das fronteiras de nossa galáxia. Contudo, se Andrômeda fosse ela mesma uma galáxia, como seus oponentes afirmavam, então ela consistiria em bilhões de estrelas e a nova (com 1/10 do brilho de Andrômeda) teria que ser tão brilhante quanto centenas de milhões de estrelas! Shapley afirmou que isso era absurdo e que a única conclusão lógica era de que a nebulosa de Andrômeda não era uma galáxia separada, mas apenas parte de nossa galáxia da Via Láctea.

Para alguns, essas evidências já eram mais do que suficientes. Agnes Clerke, historiadora da astronomia, já conhecia os argumentos de Shapley e tinha escrito: “Nenhum pensador competente, com toda a evidência disponível diante dele, pode afirmar que qualquer nebulosa seja um sistema de estrelas igual à Via Láctea”.

Entretanto, para Curtis, a questão estava longe de ter sido decidida. Para ele, os argumentos de Shapley eram fracos, e ele atacou os dois. Os dois homens tinham cada um 35 minutos para apresentar seus pontos de vista, mas seus estilos eram diferentes. Enquanto Shapley fizera uma palestra, em sua maior parte, não técnica, falando para os cientistas de diferentes disciplinas, Curtis apresentou sua resposta com uma atenção implacável aos detalhes.

Em relação à zona vaga, Curtis acreditava que ela era uma ilusão. Afirmou que as nebulosas, sendo galáxias, estavam espalhadas simetricamente por toda a volta e além da Via Láctea. De acordo com Curtis, o único motivo de os astrônomos não poderem ver muitas nebulosas no plano da Via Láctea era porque sua luz era bloqueada por todas as estrelas e a poeira interestelar que ocupam esse plano.

Na hora de atacar o outro pilar do argumento de Shapley, a nova de 1885, Curtis não admitiu que ela fosse anormal. Havia muitas outras novas que tinham sido observadas dentro dos braços espirais das nebulosas, e todas tinham sido bem mais fracas do que a notória nova de Andrômeda. De fato, a maioria das novas observadas em nebulosas eram tão extremamente

débeis que, afirmou Curtis, isso era uma prova de que as nebulosas deviam estar incrivelmente distantes e além da Via Láctea. Resumindo, Curtis não estava preparado para abandonar seu modelo favorito porque uma única nova muito brilhante fora observada havia 35 anos. Curtis uma vez disse sobre seu modelo não provado das galáxias:

Poucos conceitos maiores do que este já se formaram na mente do homem. Ou seja, que nós, os habitantes microscópicos de um pequeno satélite de um entre os milhões de sóis que formam nossa galáxia, podemos olhar além de seus limites e ver outras galáxias semelhantes, com dezenas de milhares de anos-luz de diâmetro, cada uma formada, como a nossa, por milhões de outros sóis, e, ao fazer isso, estamos penetrando no grande cosmos até distâncias de meio milhão a centenas de milhões de anos-luz.

Curtis apresentou vários outros argumentos durante a sua palestra, alguns em respaldo à sua própria teoria, alguns atacando a de Shapley. Ele ficou confiante de que apresentara um caso convincente e escreveu para sua família logo depois: “O debate foi ótimo em Washington, e me garantiram que fiquei bem na dianteira”. A verdade é que não houve um vencedor e, se existia uma leve inclinação na direção do ponto de vista de Curtis, era atribuída por Shapley ao seu estilo e não à sua substância: “Se bem me lembro, eu li o meu trabalho e Curtis apresentou o seu, sem ler muito porque ele era uma pessoa articulada e não estava assustado”.

O Grande Debate fez pouco mais do que focalizar a atenção sobre um assunto que estava longe de ser resolvido. Ele ilustrava bem a natureza de se realizar pesquisas nas fronteiras da ciência, onde as teorias rivais se enfrentam armadas apenas com os dados mais débeis. As observações usadas por ambas as facções careciam de rigor, detalhe ou volume e era muito fácil para a oposição classificar qualquer dado como falho, impreciso ou aberto a interpretação. A menos que alguém pudesse fazer observações concretas, em especial alguma coisa que determinasse com precisão as distâncias das nebulosas, as teorias rivais não seriam nada mais do que especulações. E a popularidade das teorias parecia depender da personalidade de seus defensores mais que de qualquer indício real.

O Grande Debate era sobre o lugar da humanidade dentro do cosmos e resolvê-lo dependeria de um grande avanço na astronomia. Alguns cientistas, como o popular astrônomo-escritor Robert Ball, achavam que esse avanço era impossível. Em sua *História do céu*, ele opinou que os astrônomos tinham atingido os limites do conhecimento: “Já chegamos a um ponto em que o intelecto humano começa a falhar, incapaz de lhe fornecer mais luz, e onde sua imaginação sucumbiu à tarefa de abarcar até mesmo o conhecimento que já obteve”.

Declarações semelhantes provavelmente foram feitas pelos antigos gregos, negando a possibilidade de se medir o tamanho da Terra, ou a distância até o Sol. Contudo, a primeira geração de cientistas, incluindo Eratóstenes e Anaxágoras, inventou técnicas que lhes permitiram abarcar o globo e o Sistema Solar. Então Herschel e Bessel usaram o brilho e a paralaxe para medir o tamanho da Via Láctea e a distância até as estrelas. Agora era hora de alguém inventar uma unidade de medida que pudesse cruzar o cosmos, que revelasse a verdadeira natureza das nebulosas.

### **Agora você vê, agora não**

Nathaniel Pigott viera de uma família rica e bem relacionada de Yorkshire e era um astrônomo cavalheiro de primeira ordem. Amigo próximo de William Herschel, Pigott fizera observações cuidadosas de dois eclipses do Sol e do trânsito de Vênus em 1769. Ele também construiu um dos três observatórios particulares que existiram na Inglaterra no fim do século XVIII. Como resultado disso, seu filho Edward cresceu cercado de telescópios e outros instrumentos astronômicos. Deixou-se fascinar pelo céu noturno e no devido tempo superaria o pai no entusiasmo e na capacidade como astrônomo.

O principal interesse de Edward Pigott eram as estrelas variáveis. As novas são consideradas um tipo de estrela variável, porque elas se acendem subitamente depois de um longo período de debilidade e depois gradualmente perdem o brilho até voltarem à obscuridade anterior. Outras estrelas aumentam e diminuem de brilho regularmente, como Algol, na constelação do Perseu, apelidada de Demônio Piscante. Essas estrelas variáveis eram sig-

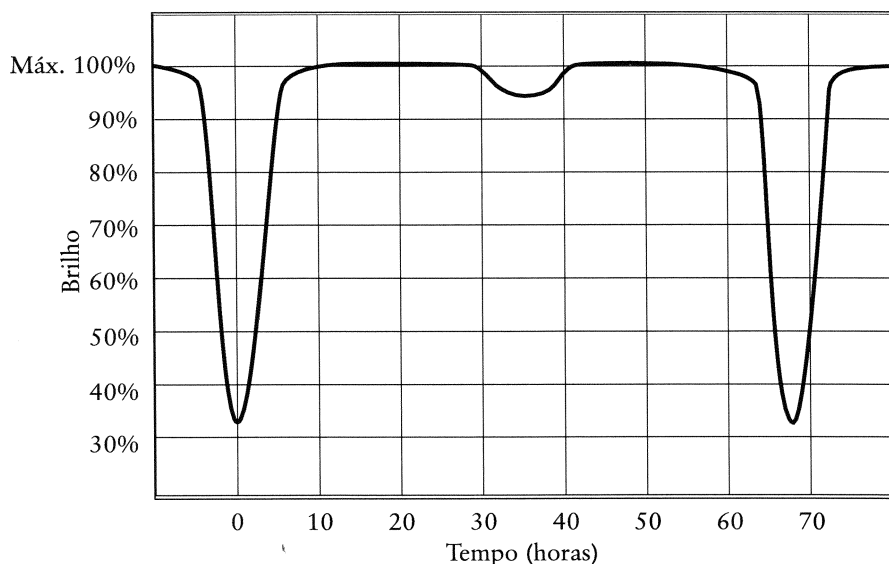


nificativas para a astronomia porque contradiziam, de modo direto, o antigo ponto de vista de que os céus eram imutáveis, e, como resultado disso, houve um esforço concentrado para entender o que provocava suas flutuações de brilho.

Quando estava na faixa dos vinte anos, Edward Pigott apadrinhou o adolescente John Goodricke. Goodricke era surdo-mudo e tinha desenvolvido um ávido interesse pela ciência, tendo crescido durante um período em que os educadores estavam abordando pela primeira vez a questão da educação de crianças surdas. Frequentou a primeira escola inglesa para surdos, aberta em Edimburgo em 1760 por Thomas Braidwood. A escola tinha uma reputação tão boa que o escritor e lexicógrafo Samuel Johnson foi visitá-la em 1773, ocasião em que pode muito bem ter encontrado Goodricke, na época um estudante de nove anos. Johnson tinha um interesse especial pela educação de crianças surdas porque contraíra tuberculose de sua amadeite e sofrera de escarlatina quando bebê. O efeito combinado das duas doenças o deixara permanentemente surdo de um ouvido e com a visão comprometida. Johnson ficou tão impressionado com a Academia Braidwood que a mencionou em sua *Journey to the Western Islands of Scotland*:

Visitei essa escola e encontrei alguns dos estudantes esperando por seu professor, o qual eles recebem sorridentes na entrada, com os olhos brilhantes, felizes com a perspectiva de novas idéias. Uma das jovens damas tinha sua lousa diante dela, na qual eu escrevi uma questão consistindo em três números para serem multiplicados por dois algarismos. Ela observou o problema e com os dedos trêmulos, de um modo que achei muito bonito, mas que não sei se era fingido ou espontâneo, multiplicou a conta de modo correto, com atenção para os decimais.

Com a idade de 14 anos, Goodricke saiu de Braidwood para a Academia Warrington, onde teve a oportunidade de estudar ao lado de alunos com audição normal. Seus professores o descreveram como “um matemático excelente e bem razoável com os clássicos”. Quando voltou para sua casa em York, continuou seus estudos sob a orientação de Edward Pigott, que lhe ensinou astronomia, e, em especial, o significado das estrelas variáveis.

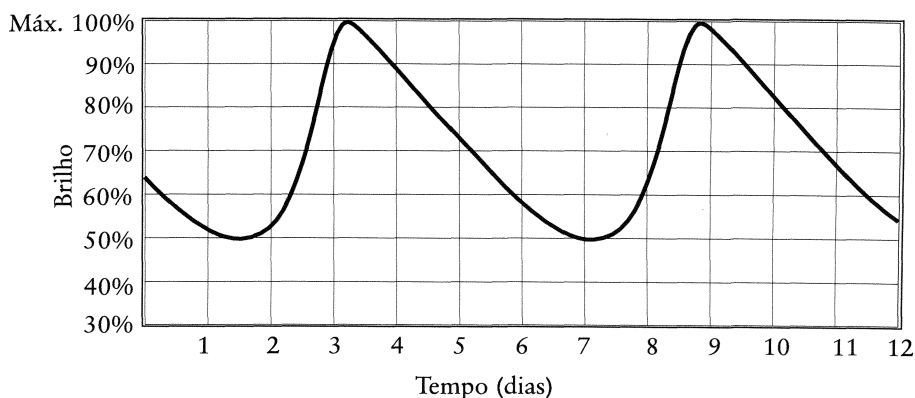


**Figura 40** A variação no brilho da estrela Algol é simétrica e periódica, com um brilho mínimo a cada 68 horas e 50 minutos.

Goodricke revelou-se um astrônomo extraordinário. Ele tinha desenvolvido uma sensibilidade e uma acuidade visual sem paralelos, sendo capaz de avaliar com grande precisão como o brilho de uma estrela variável mudava de uma noite para a outra. Isso era uma realização notável, porque ele precisava levar em consideração os efeitos das condições atmosféricas e o nível variável de luz do luar para obter o grau necessário de precisão. Para ajudá-lo a medir o brilho de uma variável, Goodricke a comparava com o brilho fixo das estrelas não variáveis ao seu redor. Um dos seus primeiros projetos de pesquisa foi observar o sutil piscar de Algol, de novembro de 1782 a maio de 1783, cuidadosamente plotando um gráfico de brilho em relação ao tempo, e mostrando que ela atingia o brilho máximo uma vez a cada 68 horas e cinquenta minutos. A variação de Algol é mostrada na figura 40.

O cérebro de Goodricke era tão perspicaz quanto sua visão. Estudando o padrão de variação no brilho de Algol, ele deduziu que não se tratava de

uma estrela solitária, e sim de uma binária — um par de estrelas, uma orbitando a outra, que hoje sabemos ser algo comum entre as estrelas. No caso de Algol, Goodricke propôs que uma estrela fosse muito mais fraca do que sua companheira e que a variação no brilho total era o resultado da estrela apagada passando na frente da brilhante e bloqueando sua luz. Em outras palavras, a variabilidade era o efeito de um eclipse.



**Figura 41** O brilho variável da estrela Delta Cefeu. A variação é assimétrica, com rápido aumento do brilho e depois uma lenta diminuição.

Goodricke tinha apenas 18 anos de idade e estava absolutamente correto em sua análise de Algol — o padrão era simétrico e um eclipse é um processo simétrico. O sistema de estrelas costumava ser brilhante com uma fase relativamente curta de redução do brilho, o que de novo é típico do efeito de um eclipse. De fato, uma boa proporção das estrelas variáveis pode ser explicada desse modo. Seu trabalho foi reconhecido pela Sociedade Real, que lhe concedeu a prestigiosa Medalha Copley para a descoberta científica mais significativa do ano. Três anos antes, a medalha tinha sido outorgada a William Herschel, e em anos posteriores a medalha seria dada a Dmitri Mendeleiev, pelo desenvolvimento da tabela periódica, a Einstein por seu trabalho na relatividade e a Francis Crick e James Watson por decifrarem o segredo do DNA.

O fenômeno das binárias eclipsantes era uma grande descoberta na história da astronomia, mas não desempenharia nenhum papel no drama das

nebulosas. No final, foi um conjunto de observações feitas por Goodricke e Pigott, em 1784, que finalmente decidiria o Grande Debate ainda por vir. Em uma noite de 10 de setembro, Pigott observou que a estrela Eta da Águia tinha brilho variável. Um mês depois, em 10 de outubro, Goodricke percebeu que a Delta do Cefeu também estava variando em seu brilho. Ninguém havia reparado até então na variabilidade dessas estrelas, mas Pigott e Goodricke tinham a capacidade de detectar mudanças sutis de brilho. Goodricke fez um gráfico das variações de ambas as estrelas e mostrou que a Eta da Águia repetia o seu padrão a cada sete dias, enquanto a Delta do Cefeu levava apenas cinco dias. Ambas tinham um período distintamente mais longo do que Algol. E o que tornava Eta da Águia e Delta do Cefeu mais notáveis era a forma geral de suas variações de brilho.

A figura 41 mostra o gráfico de variação no brilho da Delta do Cefeu. O aspecto mais notável é a ausência de simetria. Enquanto o gráfico de Algol (figura 40) exhibe uma série de vales estreitos e simétricos, a Delta do Cefeu sobe para o máximo de seu brilho em apenas um dia, e depois desce para o mínimo ao longo de quatro dias. A Eta da Águia mostrava um padrão semelhante de dentes de serra ou barbatanas de tubarão. Esse padrão não pode ser explicado por nenhum efeito de eclipse, de modo que os dois jovens presumiram que alguma coisa intrínseca às duas estrelas estava causando a variação. Eles concluíram que a Eta da Águia e a Delta do Cefeu pertenciam a uma nova classe de estrelas variáveis, que hoje em dia chamamos de *variáveis cefeidas*, ou, simplesmente cefeidas. Algumas cefeidas são muito sutis, como a Polaris, a Estrela do Norte, que é a mais próxima de nós. William Shakespeare não tinha a menor idéia da natureza variável dessa estrela e em *Júlio César* ele concebe que César declare: “Mas eu sou tão constante quanto a Estrela do Norte”. Embora esta estrela seja constante no sentido de que sempre indica o norte, sua luminosidade varia e ela fica mais brilhante e mais apagada aproximadamente a cada quatro noites.

Hoje em dia sabemos o que acontece dentro de uma estrela variável cefeida, o que provoca a sua variabilidade assimétrica e o que a torna diferente de outras estrelas. A maioria das estrelas encontra-se num estado de equilíbrio estável, o que significa que a imensa massa da estrela quer colapsar sobre si pela ação da gravidade, mas isso é contrabalançado pela pressão

para fora causada pelo calor intenso do material dentro da estrela. É um pouco como um balão, que se encontra em equilíbrio porque sua pele de borracha do lado de fora quer se contrair para dentro, mas a pressão do ar no interior a empurra para fora. Coloque o balão no frio de uma noite e o ar em seu interior esfria, a pressão do ar diminui e o balão se contrai até encontrar um novo estado de equilíbrio.

Entretanto, as estrelas variáveis cefeidas não se encontram em equilíbrio estável, e sofrem flutuações. Quando uma cefeida é relativamente fria, é incapaz de contrabalançar a força da gravidade, o que faz a estrela se contrair. Tal contração comprime o combustível no núcleo estelar, fazendo com que mais energia seja gerada, o que aquece a estrela, forçando-a a se expandir. Energia é liberada durante e depois da expansão, e portanto a estrela esfria e se contrai, e o processo se repete novamente. De modo crucial, a fase de contração comprime a camada externa da estrela, o que a torna mais opaca, resultando na fase de redução de brilho da cefeida.

Embora Goodricke não soubesse a explicação para a variabilidade das cefeidas, a descoberta de um novo tipo de estrela foi em si uma grande realização. E, com a idade de 21 anos, ele recebeu uma nova honraria: foi escolhido membro da Real Society. Então, apenas 14 dias depois, a vida desse jovem astrônomo brilhante terminou prematuramente. Goodricke morreu de pneumonia, contraída durante as longas noites geladas que passava observando as estrelas. Pigott, seu amigo e colaborador, lamentou: “Esse valeroso jovem não existe mais, e sua ausência não é apenas lamentada por muitos amigos, mas se mostrará uma grande perda para a astronomia, como mostram as descobertas que fez com tanta rapidez”. Em uma carreira que durara apenas alguns anos, Goodricke fizera uma contribuição notável para a astronomia. Ainda que não tivesse consciência de que sua descoberta das variáveis cefeidas se revelaria vital para o Grande Debate e o desenvolvimento da cosmologia.

Durante o século seguinte, os observadores de cefeidas descobririam 33 estrelas com o característico gráfico de variação em forma de barbatana de tubarão. Cada uma aumentava e diminuía seu brilho, às vezes em menos de uma semana, outras vezes levando mais de um mês. Contudo um problema prejudicava o estudo das cefeidas: a subjetividade. De fato, esse problema

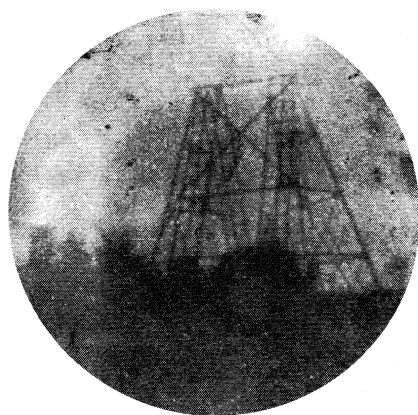
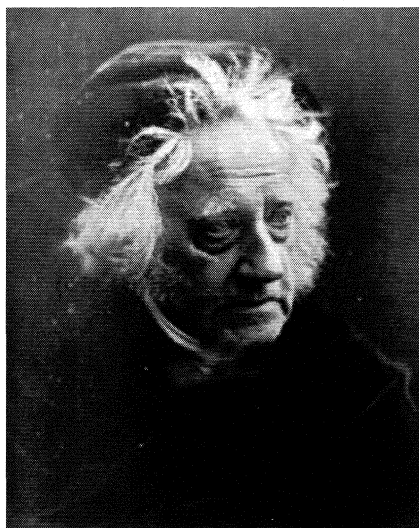
era comum na astronomia. Se os observadores viam alguma coisa nova no céu, eles inevitavelmente a interpretavam com algum nível de subjetividade, sobretudo se o fenômeno era passageiro e a interpretação dependia da memória. Além disso, a observação só podia ser registrada em palavras ou com um desenho, nenhum dos quais era confiável em termos de precisão total.

Então, em 1839, Louis Daguerre divulgou detalhes do *daguerreótipo*, um processo para imprimir quimicamente uma imagem em uma chapa de metal. De repente, a daguerreomania espalhou-se pelo mundo, com pessoas fazendo fila para serem fotografadas. Como no caso de toda nova tecnologia, havia críticos, como demonstra este trecho do *Leipzig City Advertiser*: “O desejo de captar reflexos evanescentes não é apenas impossível... mas o mero desejo de fazê-lo é uma blasfêmia. Deus criou o homem à Sua própria imagem, e nenhuma máquina feita pelo homem pode fixar a imagem de Deus. Será possível que Deus tenha abandonado Seus princípios eternos permitindo que um francês entregue ao mundo uma invenção do Diabo?”.

John Herschel, filho de William e agora presidente da Sociedade Astronômica Real, foi uma das primeiras pessoas a adotar a nova tecnologia. Semanas depois do anúncio de Daguerre, ele conseguiu reproduzir o processo e tirou a primeira fotografia sobre vidro (figura 42), que mostrava o maior telescópio de seu pai, pouco antes de ser desmontado. Ele prosseguiu fazendo enormes contribuições para o aperfeiçoamento do processo fotográfico, e criou palavras como “fotografia” e “instantâneo”, junto com outros termos fotográficos, como “positivo” e “negativo”. De fato, Herschel foi um entre muitos astrônomos que levaram a fotografia aos seus limites, desenvolvendo novas tecnologias fotográficas num esforço para captar até mesmo os mais débeis objetos celestes.

A fotografia deu aos astrônomos a objetividade que eles procuravam. Quando antes Herschel tentava descrever o brilho de uma estrela, tinha de escrever: “Alfa da Hidra é muito inferior a Gama do Leão, e um tanto inferior a Beta do Cocheiro”. Essas anotações vagas podiam agora ser substituídas por fotos mais precisas e objetivas.

Apesar das vantagens da fotografia, ainda havia um certo nível de suspeita da parte dos tradicionalistas, preocupados com as implicações da nova tecnologia. Os astrônomos acostumados a fazer desenhos temiam que a téc-



**Figura 42** *Sir John Herschel*, filho de *William Herschel*, pela aclamada fotógrafa de retratos *Julia Margaret Cameron*. Ao lado está a primeira fotografia em vidro, tirada pelo próprio *John Herschel* em 1839. Mostra a imagem do telescópio de seu pai, também retratado em desenho na figura 33 (p. 165).

nica introduzisse novas características no céu que fossem apenas produto do processo químico. Por exemplo, poderia um resíduo químico ser interpretado como uma nebulosa? Daí que qualquer observação teria que ser rotulada ou como “visual” ou “fotográfica”, de modo que sua proveniência ficasse clara.

Assim que a técnica amadureceu e o natural conservadorismo diminuiu, ficou estabelecido, de modo geral, que as fotografias eram o melhor método de se registrar as observações. Em 1900, um astrônomo do Observatório de Princeton afirmou que as fotografias forneciam “um registro que é permanente, autêntico e livre de inclinações pessoais provocadas por imaginação ou hipóteses que prejudicam tão seriamente a autoridade de muitas observações oculares”.

A fotografia revelou-se uma tecnologia inestimável para registrar com precisão as observações, de modo objetivo, mas igualmente importante foi sua capacidade de detectar objetos antes invisíveis. Se um telescópio é apontado para um objeto muito distante, a luz que chega ao olho humano pode

ser muito débil para ser percebida, mesmo que o telescópio tenha uma grande abertura. Entretanto, se o olho for substituído por uma chapa fotográfica, então ela poderá ser exposta durante vários minutos, ou até mesmo horas, captando mais e mais luz à medida que o tempo passa. O olho humano absorve a luz, processa-a e então a descarta num instante, começando tudo de novo, enquanto a chapa fotográfica continua a acumular luz, criando uma imagem que fica mais nítida com o tempo.

Em resumo, o olho tem uma sensibilidade limitada, um telescópio com uma grande abertura aumenta esta sensibilidade, mas o mesmo telescópio, acoplado a uma chapa fotográfica, será ainda mais sensível. Por exemplo, o aglomerado estelar das Plêiades (ou Sete Irmãs) contém sete estrelas visíveis a olho nu, mas Galileu com seu telescópio pôde ver 47 estrelas nessa região. No final da década de 1880, os irmãos franceses Paul e Prosper Henry fizeram uma longa exposição fotográfica daquela parte do céu e contaram 2.326 estrelas.

No centro da revolução fotográfica na astronomia estava o Harvard College Observatory, parcialmente graças ao seu primeiro diretor, William Cranch Bond, que fizera o primeiro daguerreótipo noturno de uma estrela, Vega, em 1850. Também o astrônomo amador Henry Draper, cujo pai, John Draper, havia tirado a primeira fotografia da Lua, doara sua fortuna pessoal para Harvard de modo a fotografar e catalogar todas as estrelas observáveis.

Isso permitiu que William Pickering, que se tornou diretor do observatório em 1877, iniciasse um incansável programa de fotografia celeste. O observatório faria meio milhão de chapas fotográficas nas décadas seguintes, assim, um dos maiores desafios para Pickering era estabelecer um sistema em escala industrial para analisar as fotografias. Cada chapa continha centenas de estrelas, e cada ponto precisava ter seu brilho avaliado e sua localização medida. Pickering recrutou um grupo de homens jovens para trabalhar como *computadores*, um termo que era usado originalmente para descrever pessoas que manipulavam dados e faziam cálculos.

Infelizmente, ele logo ficou frustrado devido à falta de concentração da equipe e à sua incapacidade de prestar atenção aos detalhes. Um dia, quando sua paciência esgotou, ele resmungou que sua criada escocesa faria um trabalho melhor. E, para provar seu ponto de vista, ele despediu a equipe mas-



culina e contratou mulheres computadoras para substituí-la, colocando sua criada para chefiá-las. Williamina Fleming era professora na Escócia antes de emigrar para os Estados Unidos, onde fora abandonada, grávida, pelo marido. Isso a forçou a trabalhar como empregada doméstica. Agora, ela liderava um grupo apelidado de “o harém de Pickering”, examinando o maior conjunto de imagens astronômicas do mundo.



Figura 43 As “computadoras” de Harvard em atividade, ocupadas examinando chapas fotográficas enquanto Edward Pickering e Williamina Fleming as observam. Na parede ao fundo estão gráficos que mostram o brilho oscilante de estrelas.

Pickering costuma ser respeitado por sua política liberal de recrutamento, mas até certo ponto ele foi motivado por questões práticas. As mulheres eram geralmente mais pontuais e mais meticolosas do que os homens a quem substituíram. Elas também aceitavam receber entre 25 e trinta centavos por hora, enquanto os homens exigiam cinquenta centavos. Além disso, as mulheres ficavam restritas ao trabalho como computadoras e não tinham oportunidade de fazer observações. Isso acontecia, em parte, porque os telescópios ficavam alojados em observatórios frios e escuros, considerados inadequa-

dos para o sexo frágil. E, em parte, porque as sensibilidades vitorianas teriam sido ofendidas pela idéia de um homem e uma mulher trabalhando juntos tarde da noite, olhando para um romântico conjunto de estrelas. Mas, pelo menos, as mulheres agora podiam examinar as fotografias resultantes das observações noturnas e contribuir para a astronomia, uma disciplina que as excluía, em grande parte, no passado.

Embora a equipe de mulheres computadoras de Williamina Fleming devesse, supostamente, encarregar-se do trabalho monótono de retirar os dados das fotografias, de modo que os astrônomos homens pudessem fazer suas pesquisas, não demorou muito para elas começarem a chegar às suas próprias conclusões científicas. Dias intermináveis olhando para chapas fotográficas deram a essas mulheres certa intimidade com os objetos estelares que estavam pesquisando.

Por exemplo, Annie Jump Cannon catalogou aproximadamente 5 mil estrelas por mês entre 1911 e 1915, calculando a localização, brilho e cor de cada uma. Ela se valeu de sua experiência prática para fazer uma grande contribuição ao sistema de classificação de estrelas, dividindo-as em sete classes (O, B, A, F, G, K, M). Hoje em dia, os estudantes americanos de astronomia ainda aprendem esse sistema de classificação estelar geralmente usando a frase “Oh, Be A Fine Guy — Kiss Me!” [Oh, seja um cara legal, me beije!] Em 1925, Cannon tornou-se a primeira mulher a receber um doutorado honorário da Universidade de Oxford, em reconhecimento pelo seu trabalho árduo e perspicaz. Em 1931, ela foi votada uma das 12 mulheres americanas mais importantes, e no mesmo ano se tornou a primeira mulher a receber a prestigiosa Medalha de Ouro Draper, da American Academy of Sciences.

Cannon sofrera de escarlatina quando criança, o que a deixara quase completamente surda, como o pioneiro das ceféidas, John Goodricke. Parece que ambos compensaram sua perda de audição aumentando o sentido da visão, o que permitiu que percebessem detalhes que tinham sido perdidos por outros. A integrante mais famosa da equipe de Pickering, Henrietta Leavitt, também era profundamente surda. E foi Leavitt que percebeu características nas chapas fotográficas que decidiriam o Grande Debate de uma vez por todas. Ela capacitou os astrônomos a medirem a distância até as nebulosas, e sua descoberta influenciaria a cosmologia por décadas.

Leavitt nasceu em 1868 em Lancaster, Massachusetts, filha de um ministro da Igreja. O professor Solon Bailey, que a conheceu no Harvard College Observatory, lembra como sua personalidade era moldada pela educação religiosa:

Ela era uma pessoa dedicada a seu círculo familiar, generosa e muito atenciosa com seus amigos, leal a seus princípios e profundamente conscienciosa e sincera em sua ligação com sua religião e sua Igreja. Ela tinha a feliz capacidade de apreciar tudo que era adorável e de valor nos outros, e possuía uma natureza tão iluminada que, para ela, toda a vida se tornava bela e cheia de significado.

Em 1892, Leavitt graduou-se pelo Harvard University's Radcliffe College, da Universidade de Harvard, que na época era conhecido como Society for the Collegiate Instructions of Women. Durante os dois anos seguintes, ela permaneceu em casa, recuperando-se de uma doença grave, possivelmente meningite, que provocou sua perda da audição. Ao recuperar as forças, tornou-se voluntária no Harvard College Observatory, examinando chapas fotográficas e procurando por estrelas variáveis que recebera a incumbência de catalogar. A fotografia transformara o estudo das estrelas variáveis, porque duas chapas fotográficas de vidro, tiradas em noites diferentes, poderiam ser sobrepostas e comparadas diretamente, tornando muito mais fácil a detecção das variações de brilho. Leavitt aproveitou o máximo essa tecnologia nascente e descobriu mais de 2.400 estrelas variáveis, metade do total conhecido em sua época. O professor Charles Young, da Universidade de Princeton, ficou tão impressionado que a chamou de “viciada em estrelas variáveis”.

Dos vários tipos de estrelas variáveis, Leavitt adquiriu uma paixão particular pelas cefeidas. Depois de passar meses medindo e catalogando variáveis cefeidas, ela desejou obter algum entendimento do que determinava o ritmo de suas flutuações. Num esforço para resolver o mistério, voltou sua atenção para as duas únicas informações disponíveis em relação a qualquer variável cefeida: seu período de variação e seu brilho. Ela queria descobrir se existia uma relação entre período e brilho — talvez as estrelas mais brilhan-

tes tivessem um período de variação mais longo que as estrelas mais fracas, ou vice-versa. Infelizmente, parecia impossível tirar qualquer sentido dos dados sobre brilho. Por exemplo, uma cefeida aparentemente brilhante poderia na verdade ser um astro apagado que estivesse próximo, enquanto uma cefeida aparentemente débil poderia na verdade ser uma estrela brilhante muito distante.

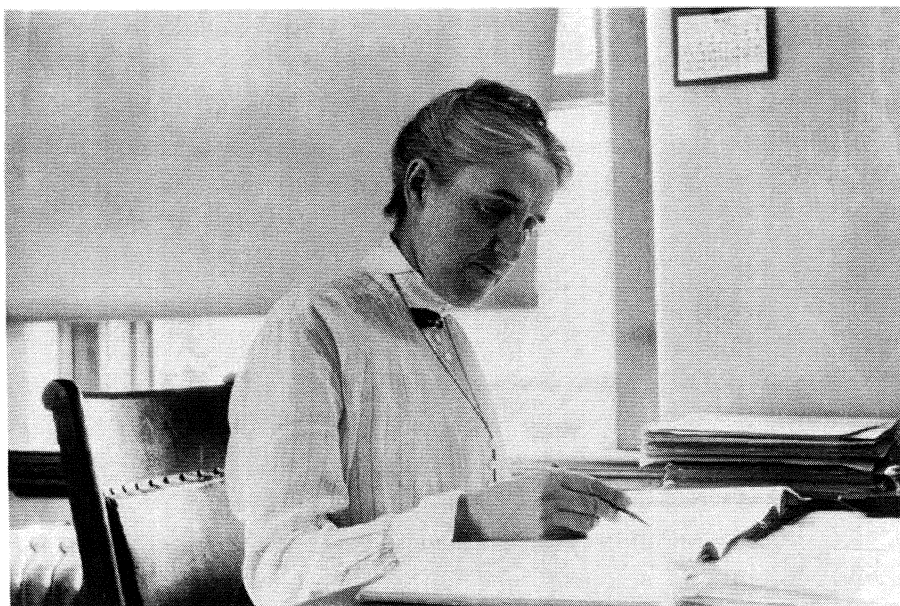


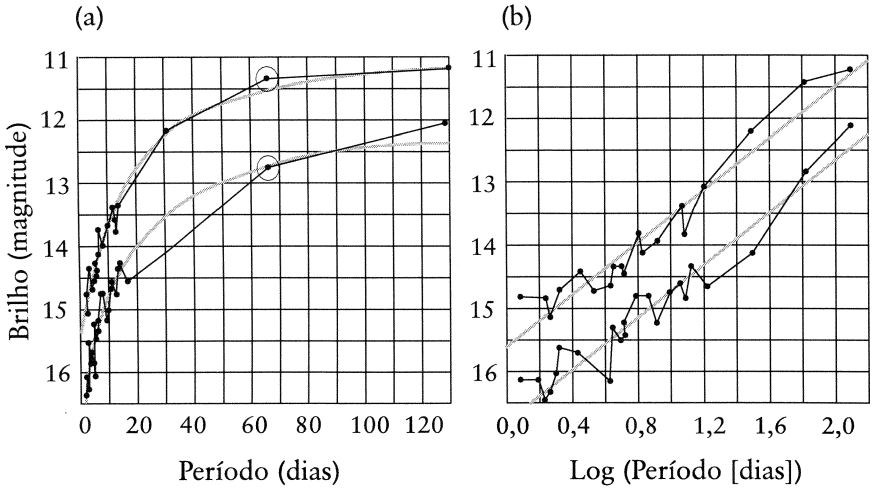
Figura 44 Henrietta Leavitt, que começou como voluntária sem salário no Observatório do Colégio de Harvard e fez uma das descobertas mais importantes da astronomia no século XX.

Há muito tempo os astrônomos tinham concluído que só podiam perceber o brilho aparente de uma estrela em oposição ao seu brilho real. A situação parecia sem esperanças e a maioria dos astrônomos teria desistido. Mas a dedicação, a paciência e a concentração de Leavitt a levaram a uma idéia brilhante. Ela fez sua descoberta focalizando sua atenção sobre uma formação estelar conhecida como Pequena Nuvem de Magalhães, batizada em honra ao explorador do século XVI, Fernão de Magalhães, que a regis-

trou pela primeira vez quando velejou pelos oceanos do Sul enquanto circunavegava o globo. Como a Pequena Nuvem de Magalhães é visível apenas do hemisfério Sul, Leavitt teve que depender de fotografias tiradas pela estação austral de Harvard, em Arequipa, no Peru. Leavitt conseguiu identificar 25 variáveis cefeidas dentro da Pequena Nuvem de Magalhães. Ela não sabia qual era a distância entre a Terra e a Pequena Nuvem de Magalhães, mas suspeitava que fosse relativamente distante e que as cefeidas dentro dela estivessem relativamente próximas. Em outras palavras, todas as 25 cefeidas estariam mais ou menos à mesma distância da Terra. De repente, Leavitt tinha aquilo de que precisava. Se as cefeidas na Pequena Nuvem de Magalhães estivessem aproximadamente à mesma distância, então, se uma cefeida fosse mais brilhante do que outra, seria por sua maior luminosidade intrínseca e não por ser mais brilhante.

A suposição de que as estrelas da Pequena Nuvem de Magalhães eram aproximadamente equidistantes da Terra era algo como um ato de fé, mas constituía uma pressuposição razoável. A linha de pensamento de Leavitt era semelhante à de um observador vendo um bando de 25 pássaros no céu e presumindo que a distância entre cada um é relativamente pequena comparada à distância entre o observador e o bando inteiro. Daí que, se um pássaro *parece* menor do que os outros, então é bem provável que seja genuinamente menor. Contudo, se você vê 25 pássaros espalhados pelo céu inteiro e um parece menor do que os outros, então você não pode ter certeza se aquele pássaro é realmente pequeno ou está apenas mais distante.

Leavitt agora estava pronta para explorar a relação brilho *versus* período para as cefeidas. Com base na suposição de que o brilho aparente de cada cefeida na Pequena Nuvem de Magalhães fosse uma verdadeira indicação de seu brilho real, em relação a outras cefeidas na Nuvem, Leavitt traçou um gráfico do brilho aparente em relação ao período de variação das 25 estrelas cefeidas. O resultado foi espantoso. A figura 45(a) mostra como as cefeidas que flutuam ao longo de período maior são tipicamente mais brilhantes, e, o que é ainda mais importante, os pontos parecem seguir uma curva regular. A figura 45(b) mostra os mesmos dados mas com a mudança da escala para período de variação, que revela com mais clareza a relação entre brilho e período. Em 1912, Leavitt anunciou sua conclusão: “Uma linha reta pode



**Figura 45** Estes dois gráficos mostram as observações de Henrietta Leavitt das estrelas variáveis cefeidas na Pequena Nuvem de Magalhães. O gráfico (a) mostra o brilho (no eixo vertical) em relação ao período, medido em dias (no eixo horizontal), e cada ponto representa uma cefeida. Existem duas linhas no gráfico: uma representa o brilho máximo e a outra o brilho mínimo de cada estrela variável.

Para ajudar na interpretação do gráfico, os pontos dentro de círculos representam uma cefeida com um período de aproximadamente 65 dias, e seu brilho varia entre 11,4 e 12,8. Um par de linhas uniformes pode ser traçado através dos pontos. Nem todos ficam exatamente na curva, mas, se os erros forem levados em consideração, as curvas parecem encaixar-se adequadamente nos dados.

O brilho das estrelas é medido em termos de magnitude, que é uma unidade de medida peculiar porque, quanto mais brilhante for uma estrela, menor será a sua magnitude, motivo pelo qual a escala vai de 16 até 11. A magnitude também é medida em uma *escala logarítmica*. Para nossos propósitos, não é necessário definir uma escala logarítmica; tudo de que precisamos saber é que a relação entre brilho e período de variação se torna mais clara se o período também for marcado como uma escala logarítmica num gráfico (b). Os pontos agora ficam todos razoavelmente próximos a um par de linhas retas, o que indica que existe uma relação matemática simples entre o período de variabilidade da cefeida e seu brilho.

ser traçada entre cada um dos pontos das duas séries correspondentes a máximos e mínimos, mostrando assim que existe uma relação simples entre o brilho das variáveis e seus períodos”.

Leavitt tinha descoberto uma relação matemática direta entre a verdadeira luminosidade de uma cefeida e o período de sua variação de brilho aparente: quanto mais alta a luminosidade da cefeida, mais longo era o período entre seus picos de brilho. Leavitt estava confiante de que esta regra poderia ser aplicada a qualquer estrela variável cefeida do universo e que seu gráfico poderia ser ampliado para incluir cefeidas com períodos muito longos. Esse era um resultado surpreendente, cheio de repercussões cósmicas, mas foi publicado com o modesto título de “Períodos de 25 estrelas variáveis na Pequena Nuvem de Magalhães”.

A força da descoberta de Leavitt era tornar possível a comparação de quaisquer duas cefeidas no céu e calcular suas distâncias relativas à Terra. Por exemplo, se ela pudesse encontrar duas cefeidas em partes diferentes do céu que variassem com períodos semelhantes, então saberia que seu brilho era aproximadamente igual — o gráfico na figura 45 prevê que um determinado período implica um certo brilho inerente. Assim, se uma daquelas estrelas aparecesse nove vezes mais fraca do que a outra, então deveria estar mais distante. De fato, se era nove vezes mais fraca, então ela deve estar três vezes mais distante, porque o brilho diminui com o quadrado da distância e  $3^2 = 9$ . Ou, se uma das cefeidas parecesse 144 vezes mais fraca do que outra com um período muito semelhante, então ela deveria estar 12 vezes mais distante, porque  $12^2 = 144$ .

Mas, embora os astrônomos pudessem usar o gráfico de Leavitt para calibrar o brilho das cefeidas e determinar a distância relativa entre duas cefeidas quaisquer, eles ainda não conheciam a distância absoluta para nenhuma delas. Eles podiam provar que uma cefeida estava, digamos, 12 vezes mais distante do que a outra, e isso era tudo. Se ao menos a distância de apenas uma estrela variável cefeida pudesse ser determinada, então seria possível ancorar a escala de medição de Leavitt e determinar a distância de todas as outras.

As observações decisivas que tornaram isso possível, e portanto calibraram a escala de distância das cefeidas, foram conseguidas graças aos esforços

de uma equipe de astrônomos que incluiu Harlow Shapley e o dinamarquês Ejnar Hertzsprung. Juntos, eles usaram uma combinação de técnicas, incluindo paralaxe, para medir a distância até uma variável cefeida, que então transformou a pesquisa de Leavitt no derradeiro guia de distâncias para o cosmos. As variáveis cefeidas podiam funcionar como um marco de medidas para o universo.

Em resumo, um astrônomo agora podia medir a distância a qualquer cefeida por um processo simples, em três etapas. Primeiro, determinar com que rapidez ela varia, o que revela a extensão de seu brilho. Em segundo lugar, determinar a extensão do brilho que parece ter. E em seguida calcular que distância transformaria o brilho real em brilho aparente.

Em uma analogia tosca, imagine as estrelas pulsantes como faróis piscando. Imagine que a velocidade com que um farol pisca depende de seu brilho (exatamente como uma estrela cefeida), assim um farol de três quilowatts pisca três vezes por minuto, enquanto um farol de cinco quilowatts pisca cinco vezes por minuto. Se um marinheiro no mar, em uma noite escura, vê um farol piscando à distância, ele pode calcular seu afastamento pelo mesmo processo em três etapas. Primeiro ele conta a frequência com que a luz pisca, o que imediatamente lhe dá o brilho verdadeiro do farol. Em segundo, calcula a extensão do brilho aparente. E, em terceiro lugar, determina que distância transformaria o brilho real no brilho aparente.

O marinheiro também pode estimar a distância de seu navio até um vilarejo, à beira-mar, que esteja na mesma linha de mira do farol, porque ele pode presumir que o vilarejo esteja aproximadamente a mesma distância que ele já calculou para o farol. Pode ser que a vila esteja mais afastada da costa e longe do farol, ou que o farol esteja localizado mar adentro, em cima de alguma rocha e a alguma distância da vila, mas em geral o farol estará perto da vila e a estimativa será razoavelmente precisa. De modo semelhante, um astrônomo que determina a distância a uma variável cefeida também conhece a distância aproximada até as estrelas em sua vizinhança. O método não é infalível, mas funciona na maioria dos casos.

O professor Gösta Mittag-Leffler, da Academia de Ciências da Suécia, ficou tão impressionado com o trabalho de Leavitt e o poder de sua escala de cefeidas que, em 1924, começou a preparar a documentação necessária



para indicá-la ao Prêmio Nobel. Contudo, quando começou a pesquisar os interesses científicos de Leavitt naquela ocasião, ficou chocado ao descobrir que ela tinha morrido de câncer três anos antes, em 12 de dezembro de 1921, com a idade de apenas 53 anos. Leavitt não era uma astrônoma famosa, que viajasse pelo mundo participando de seminários, e sim uma humilde pesquisadora que estudava diligentemente e em silêncio as suas chapas fotográficas, assim a sua morte passou despercebida na Europa. Ela não apenas não viveu o suficiente para receber o reconhecimento que merecia, como nunca testemunhou o impacto decisivo de seu trabalho sobre o Grande Debate referente à natureza das nebulosas.

### **O astrônomo titânico**

O astrônomo que exploraria todo o potencial da descoberta de Leavitt foi Edwin Powell Hubble, seguramente o astrônomo mais famoso de sua geração. Ele nasceu no Missouri, em 1889, filho de John e Jennie Hubble. Eles se conheceram quando John ficou seriamente ferido em um acidente na fazenda e Jennie, a filha do médico local, ficou encarregada de cuidar dele. O rapaz estava tão ensanguentado e ferido que ela disse que “nunca mais queria ver John Hubble novamente”. Mas, quando ele se recuperou, ela se apaixonou e eles se casaram em 1884.

Edwin teve uma infância na maior parte feliz, a não ser por um incidente traumático quando ele tinha sete anos de idade. Ele e seu irmão Bill se ressentiam dos cuidados e da atenção que a irmã Virginia, de 14 meses, recebia da mãe. Eles decidiram se vingar pisando nos dedos dela para fazê-la chorar. Alguns dias depois ela adquiriu uma doença séria e não diagnosticada que se revelou fatal. Confuso e perturbado, Edwin sentiu-se culpado, ainda que a doença de Virginia não tivesse relação com suas ações. Como uma de suas irmãs lembrou: “Edwin ficou psicologicamente doente e, se não fosse pelos seus pais, que eram muito inteligentes e compreensivos, esta paranóia poderia ter causado outra tragédia na família”. Edwin era especialmente apegado à mãe, e foi ela que o ajudou durante o episódio perturbador de sua infância.

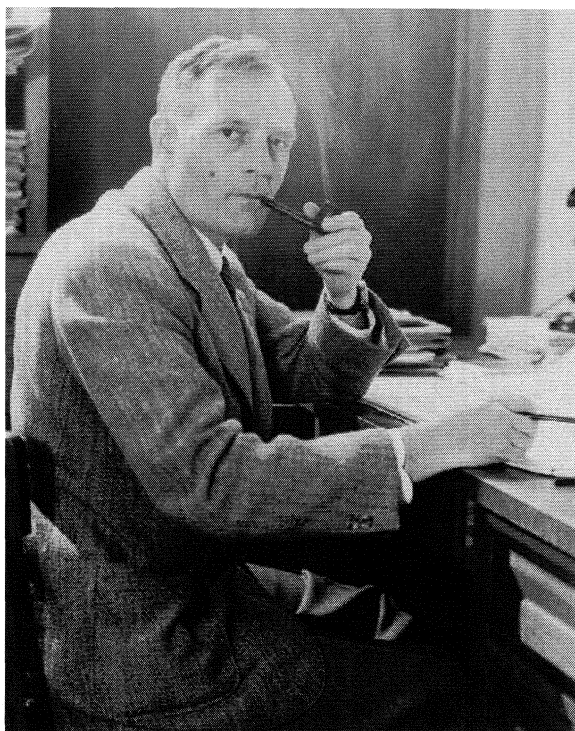
Edwin também tinha uma grande amizade por seu avô, Martin Hubble, que o introduziu à astronomia construindo-lhe um telescópio quando ele fez oito anos. Martin conseguiu persuadir os pais do menino a deixá-lo ficar acordado até tarde para olhar a infinidade de estrelas no céu negro do Missouri. Edwin ficou tão fascinado com as estrelas e os planetas que se inspirou para escrever um artigo sobre Marte, que foi publicado no jornal local quando ele ainda era aluno do ginásio. Sua professora, srta. Harriet Grote, reconheceu o crescente entusiasmo de Edwin pela astronomia: “Edwin Hubble será um dos homens mais brilhantes de sua geração”. É provável que toda professora diga o mesmo de seu aluno favorito, mas no caso de Edwin ele corresponderia plenamente à expectativa da srta. Grote.

Hubble foi estudar no Wheaton College, esperando conseguir uma bolsa em uma grande universidade. Na cerimônia de formatura, quando as bolsas eram anunciadas, o superintendente chocou Hubble ao dizer: “Edwin Hubble, eu o observei durante quatro anos e nunca o vi estudar por dez minutos”. Depois de uma pausa dramática, digna de um grande ator, ele continuou: “Aqui está uma bolsa para a Universidade de Chicago”.

Hubble tinha planejado estudar astronomia em Chicago, mas seu pai, enérgico, fez com que buscasse uma graduação em direito, devido à renda que essa profissão poderia garantir. Quando jovem, John tinha lutado para conseguir uma renda decente, e só conseguira a segurança financeira no final da vida, quando se tornou vendedor de seguros. Ele tinha muito orgulho de sua profissão, que tornara os Hubble uma família respeitável de classe média: “A melhor definição que encontramos para a civilização é a de que o homem civilizado faz o que é melhor para todos, enquanto o selvagem faz o que é melhor para ele mesmo. A civilização não passa de uma imensa companhia de seguros mútua contra o egoísmo humano”.

Edwin resolveu o conflito entre suas ambições e o pragmatismo do pai estudando direito para acalmá-lo enquanto também completava cursos em física suficientes para manter vivo seu sonho de ser astrônomo. O departamento de física em Chicago era dirigido por Albert Michelson, que acabara com o éter e ganhara o primeiro Prêmio Nobel de Física dos Estados Unidos, em 1907. A universidade também era o lar de Robert Millikan, que se tornaria o segundo americano laureado com o Nobel de Física e que admitiu

Hubble como seu assistente de laboratório quando Edwin ainda não tinha se graduado. Foi um relacionamento breve mas fundamental, porque Millikan ajudou a empurrar Hubble para seu próximo objetivo, uma bolsa Rhodes para estudar na Universidade de Oxford.



**Figura 46** Edwin Powell Hubble, o maior astrônomo observador de sua geração, fumando seu característico cachimbo.

As bolsas de estudos Rhodes tinham sido criadas em 1903 e financiadas com a fortuna do megaempreendedor vitoriano Cecil Rhodes, que morrera no ano anterior. Eram concedidas a jovens americanos que exibissem força de intelecto e de caráter. George Parker, que ajudava a administrar o esquema, disse que as 32 bolsas eram para aqueles “com probabilidade de se tornar presidente do Estados Unidos, presidente da Suprema Corte ou embaixador americano na Grã-Bretanha”. Millikan deu a Hubble uma reco-

mendação de primeira classe: “Acho Hubble um homem de compleição magnífica, cultura admirável e uma personalidade adorável e valorosa... Poucas vezes conheci um homem que parecesse mais qualificado para as condições impostas pelo fundador das bolsas Rhodes do que o sr. Hubble”. Graças a esse apoio de um dos mais conhecidos cientistas americanos, Hubble conseguiu sua bolsa e partiu para a Inglaterra em setembro de 1910. O único desapontamento para ele é que, devido à pressão paterna, sua matéria principal em Oxford ainda deveria ser o direito.

Durante os dois anos que passou em Oxford, Hubble tornou-se um anglófilo extremado, adotando tudo, do estilo de vestir britânico a um sotaque aristocrático. O também bolsista Rhodes Warren Ault ficou desagradavelmente surpreso quando encontrou Hubble no final de sua temporada na Grã-Bretanha: “Ele estava vestido com um calção folgado, fechado embaixo dos joelhos, uma jaqueta com botões de couro e um enorme boné. Também tinha uma bengala e falava com um sotaque britânico que eu quase não entendia... Aqueles dois anos o tinham transformado, aparentemente, num inglês tão falso quanto o seu sotaque”. Jakob Larsen, de Iowa, que estava com Hubble no Queen’s College, ficou da mesma forma desapontado: “Nós ríamos do esforço que ele fazia para assimilar uma pronúncia britânica enquanto o resto de nós tentava manter a sotaque que trouxera de casa. Sempre afirmamos que ele não conseguiria se manter coerente”.

A temporada de Hubble na Inglaterra terminou de modo abrupto quando seu pai ficou gravemente doente e morreu em 19 de janeiro de 1913. Ele foi obrigado a voltar para casa, ainda com seu boné de Oxford e seu falso sotaque britânico, assumindo a responsabilidade de sustentar a mãe e os quatro irmãos cujo sofrimento fora aumentado pelo colapso das finanças da família. Hubble trabalhou como professor no ginásio e conseguiu algum trabalho jurídico em tempo parcial nos 18 meses seguintes. Tempo suficiente para recuperar as finanças da família. Daí em diante, ele já tinha cumprido com suas obrigações familiares e estava livre do pai dominador, pronto para seguir o sonho de infância de se tornar astrônomo. “A astronomia é como a religião,” disse ele uma vez. “Ninguém deve seguir sem sentir um chamado. E eu recebi esse chamado inconfundível, e sabia que, mesmo que fosse um profissional de segunda ou terceira classe, era a astronomia que importava

para mim.” E ele reiterou seu ponto de vista com uma observação que parecia dedicada ao falecido pai: “Eu prefiro ser um astrônomo de segunda classe a um advogado de primeira”.

Hubble começou a compensar o tempo que perdera com as aulas de direito e tomou a longa estrada para se tornar um astrônomo profissional. Graças aos seus contatos com o meio científico na Universidade de Chicago, obteve um posto como graduado no vizinho Observatório de Yerkes, abrigo do primeiro grande telescópio de Hale. Lá completou seu doutorado com uma pesquisa de nebulosas que ele às vezes chamava pelo nome alemão de *nebelflecken*. Hubble sabia que sua tese era um trabalho sólido, mas não muito inspirado: “Não traz nenhuma contribuição apreciável para a soma total do conhecimento humano. Algum dia eu espero estudar a natureza dessas *nebelflecken* para algum propósito”.

Para conseguir esse objetivo específico Hubble percebeu que precisava obter uma vaga de pesquisador em qualquer observatório que tivesse os melhores telescópios. Ele disse certa vez: “Equipado com seus cinco sentidos, o homem explora o universo ao seu redor e chama essa aventura de ciência”. O sentido-chave para os astrônomos é a visão, e quem tivesse acesso ao melhor telescópio enxergaria mais longe e mais claramente. Monte Wilson era, portanto, o lugar onde ele deveria estar: o observatório já alojava o grande telescópio de sessenta polegadas e logo seria terminado o de cem polegadas, ainda maior. No final das contas o observatório californiano já estava ciente do potencial de Hubble e ávido em recrutar seu talento. Assim, ele ficou encantado quando recebeu uma oferta para trabalhar em Monte Wilson em novembro de 1916. A nomeação foi atrasada porque, na ocasião, os Estados Unidos entraram na Primeira Guerra Mundial, e Hubble sentiu que era seu dever ajudar a defender a Grã-Bretanha, o país que ele tanto amava. Ele chegou à Europa muito tarde para se envolver nos combates, mas ficou lá quatro meses, depois da guerra, como parte das forças de ocupação da Alemanha. Atrasou sua volta para fazer uma longa viagem pela sua adorada Inglaterra e por fim chegou ao Observatório de Monte Wilson no outono de 1919.

Embora ainda fosse um astrônomo iniciante, com pouca experiência, Hubble logo se tornou uma figura destacada no observatório. Um de seus

assistentes deu uma viva descrição de Hubble enquanto ele tirava fotos com o telescópio de sessenta polegadas:

Sua figura alta, vigorosa, com o cachimbo na boca, aparecia claramente delineada contra o céu. O vento frio sacudia sua capa militar e arrancava centelhas do cachimbo na escuridão da cúpula. A visão do céu naquela noite estava extremamente pobre na nossa escala de Monte Wilson, mas quando Hubble voltou da sala escura, depois de revelar sua chapa, estava entusiasmado. “Se isso é um exemplo de condições ruins de observação, eu serei sempre capaz de obter fotos utilizáveis com os instrumentos de Monte Wilson”. A confiança e o entusiasmo que ele demonstrou naquela noite eram típicos do modo como abordava todos os seus problemas. Ele era muito confiante — do que queria fazer e de como fazê-lo.

Em relação ao Grande Debate, Hubble compartilhava o ponto de vista de que as nebulosas eram galáxias independentes. Isso era um tanto constrangedor, já que Monte Wilson era dominado por astrônomos que acreditavam que a Via Láctea era a única galáxia e que as nebulosas ficavam dentro dela. Em particular, Harlow Shapley, que defendera a teoria da galáxia única em Washington, desprezava o recém-chegado, seus pontos de vista e seu comportamento. Os modos humildes de Shapley estavam totalmente em conflito com um homem obcecado pela aristocracia inglesa, que usava uma jaqueta de Oxford e falava “Por Júpiter!” várias vezes por dia. Hubble gostava de ser o centro das atenções. Ele se divertia por ser capaz de acender um fósforo, lançá-lo no ar descrevendo uma volta de 360 graus, agarrá-lo e acender seu cachimbo irlandês. Era um *showman* consumado enquanto Shapley era exatamente o oposto e desdenhava esses exibicionismos. E, para piorar tudo, Shapley tinha se oposto de modo veemente à entrada dos Estados Unidos na guerra enquanto Hubble insistia em usar sua capa militar do exército dentro do observatório.

O choque de personalidades terminou em 1921, quando Shapley deixou Monte Wilson para se tornar diretor do Observatório de Harvard. Essa era sem dúvida uma promoção para Shapley, até certo ponto em reconhecimento pela sua liderança no Grande Debate. Mas a mudança para a Costa Leste revelou-se um desastre. Embora ele estivesse se livrando de Hubble e assu-

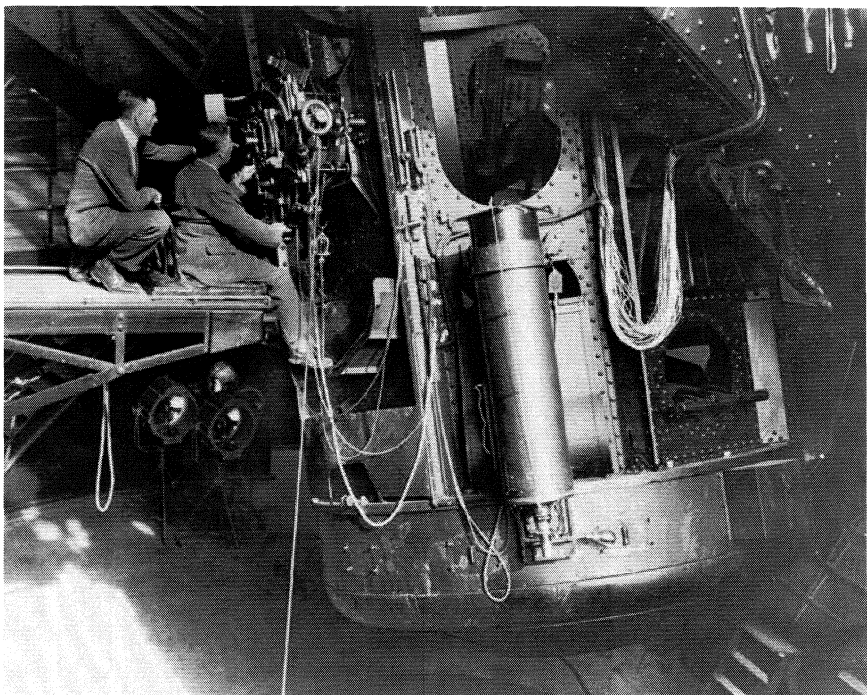


Figura 47 Edwin Hubble (à esquerda) ao lado do telescópio Hooker de cem polegadas no Observatório de Monte Wilson. A figura 48 mostra o telescópio inteiro.

mindando uma posição de prestígio, Shapley deixava para trás o observatório que iria dominar a astronomia durante quatro décadas. Monte Wilson tinha os mais poderosos telescópios do mundo e estava destinado a ser o observatório que faria a próxima grande descoberta na astronomia.

Hubble foi promovido, aos poucos conseguiu mais tempo de observação e se encarregou de tirar as melhores fotos possíveis das nebulosas. Sempre que seu nome estava na escala de observação, ele fazia a jornada pela estrada íngreme e tortuosa que levava até o pico de 1.740 metros de altura de Monte Wilson, onde passaria alguns dias vivendo no que era adequadamente chamado de Monastério. Uma residência só para homens destinada àqueles que tinham abandonado o contato com o mundo exterior para se dedicarem à observação do espaço.

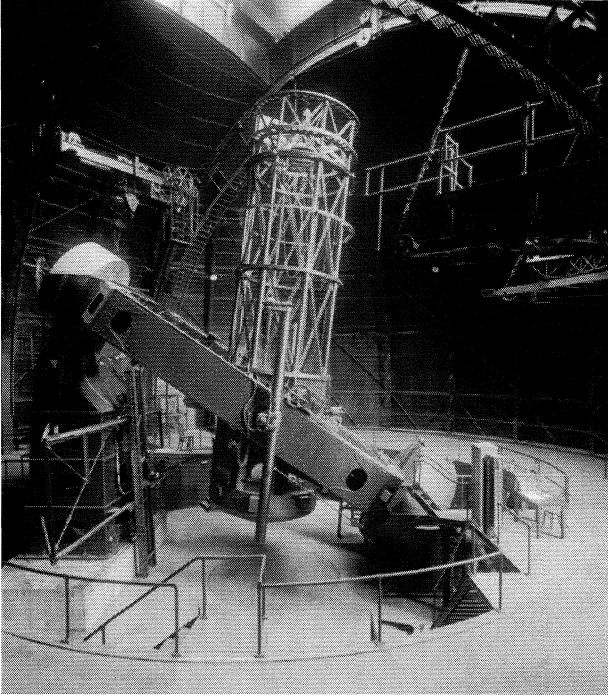
Isso pode dar a impressão de que os astrônomos são uma raça meditativa que passa as noites em contemplação, maravilhados, mas na realidade a obser-

vação era um trabalho duro. Exigia horas de concentração intensa à medida que a dor da privação do sono aumentava ao longo da noite. E, para tornar as coisas piores, as temperaturas em Monte Wilson eram freqüentemente congelantes, o que significava que ajustes delicados na orientação do telescópio tinham que ser feitos com dedos entorpecidos e doloridos, enquanto as pálpebras grudavam na ocular com as lágrimas congeladas. O diário do observatório oferecia alguns conselhos: “Quando estiver cansado, com frio e sonolento nunca faça nenhum movimento com o telescópio ou a cúpula sem parar para pensar”. Só os observadores mais determinados e zelosos poderiam ter sucesso. Em uma demonstração de suprema disciplina física e mental, os astrônomos mais dedicados eram capazes de suprimir seus tremores de frio de modo a não fazer vibrar o equipamento fotográfico enquanto este captava imagens inestimáveis do cosmos.

Em uma noite de 4 de outubro de 1923, quatro anos depois de sua chegada a Monte Wilson, Hubble estava observando com o telescópio de cem polegadas. As condições de observação estavam classificadas como 1, que eram as piores possíveis para se trabalhar antes que a cúpula fosse fechada, mas ele conseguiu fazer uma exposição de quarenta minutos da M-31, a nebulosa de Andrômeda. Depois de revelar e estudar a fotografia na luz clara do dia, ele percebeu um novo ponto, e presumiu que era um defeito na fotografia ou uma nova. Na noite seguinte, a última de seu turno de observação, o céu estava muito mais claro e ele repetiu a exposição, acrescentando mais cinco minutos na esperança de confirmar a nova. O ponto apareceu de novo, e dessa vez mais duas novas em potencial se juntaram a ela. Hubble marcou a chapa com um “N” perto de cada candidata a nova e, como seu tempo de observação tinha terminado, voltou ao seu escritório e à biblioteca de chapas fotográficas na rua Santa Barbara, em Pasadena.

Hubble estava ansioso por comparar a nova foto com imagens anteriores da mesma nebulosa para ver se suas novas eram genuínas. Todas as chapas fotográficas feitas no observatório eram guardadas em um cofre à prova de terremotos, com cada imagem cuidadosamente catalogada e arquivada, de modo que era simples encontrar as fotos adequadas e verificar as estrelas candidatas a novas. O resultado foi melhor do que ele esperava, a terceira estrela não era uma nova mas uma variável cefeida, que ficara registrada em algumas das fotos anteriores, mas não em todas, o que indicava sua variabili-

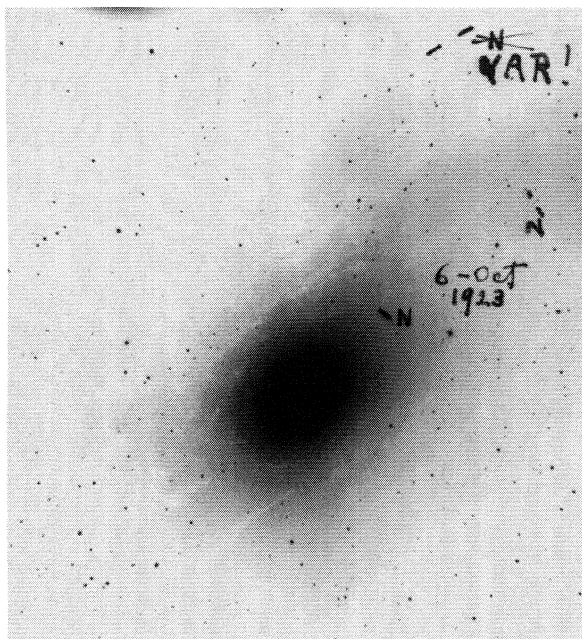




**Figura 48** O telescópio Hooker de cem polegadas em sua cúpula no Observatório de Monte Wilson. Era o mais poderoso telescópio do mundo quando Hubble fez suas observações históricas em 1923.

dade. Hubble tinha feito a maior descoberta de sua carreira. Ele rapidamente riscou o “N” e escreveu, triunfante, “VAR”, como mostrado na figura 49.

Essa era a primeira cefeida a ser descoberta em uma nebulosa. E o que tornava a descoberta tão importante era que as cefeidas poderiam ser usadas para medir distância e assim Hubble poderia agora medir a distância até Andrômeda e portanto resolver, de modo conclusivo, o Grande Debate. Seriam as nebulosas entidades dentro de nossa própria Via Láctea, ou seriam galáxias muito mais distantes? A nova cefeida brilhou e diminuiu num período de 31,415 dias, de modo que Hubble podia usar a pesquisa de Leavitt para calcular o brilho absoluto da estrela. Ele descobriu que a cefeida era 7 mil vezes mais luminosa do que o Sol. E, comparando seu brilho absoluto com seu brilho aparente, Hubble deduziu sua distância.



**Figura 49** Em outubro de 1923 Hubble localizou três estrelas candidatas a novas na nebulosa de Andrômeda, cada uma marcada com um “N”. Uma dessas novas revelou-se uma variável cefeida, uma estrela que muda seu brilho de modo previsível, assim o “N” foi riscado e a estrela renomeada como “VAR!”. Cefeidas podem ser usadas para medir distâncias, assim Hubble podia agora medir a distância da nebulosa de Andrômeda e resolver o Grande Debate.

O resultado foi atordoante. A estrela variável cefeida e, portanto, a nebulosa de Andrômeda que ela habitava, pareciam estar, aproximadamente, a 900 mil anos-luz da Terra.

A Via Láctea tinha cerca de 100 mil anos-luz de diâmetro, assim, Andrômeda claramente não fazia parte da nossa galáxia. E, se Andrômeda estava tão longe, ela deveria ser incrivelmente brilhante, porque ainda era visível a olho nu. Tal brilho implicava um sistema contendo centenas de milhões de estrelas. A nebulosa de Andrômeda tinha que ser uma galáxia. O Grande Debate terminara.

A nebulosa de Andrômeda era agora a galáxia de Andrômeda, porque

ela, e a maioria das outras nebulosas, eram de fato galáxias separadas, tão grandes e magníficas quanto a nossa Via Láctea e posicionadas muito além dela. Hubble tinha provado que Curtis estava certo e Shapley, errado.

A imensa distância até Andrômeda era tão chocante que Hubble decidiu não torná-la pública até que tivesse mais provas. Em Monte Wilson, ele estava cercado de adeptos da teoria da galáxia única e portanto não queria parecer um tolo. Ele usou de enorme autodisciplina e paciência, tirando várias fotografias de Andrômeda até descobrir uma segunda cefeida, mais apagada, que confirmava seu resultado inicial.



**Figura 50** As galáxias não são mais classificadas como nebulosas, assim a nebulosa de Andrômeda é conhecida hoje em dia como galáxia de Andrômeda. Esta fotografia foi tirada pelo Observatório de La Palma em 2000. Mostra que Andrômeda é formada por milhões de estrelas e é por direito uma galáxia.

Finalmente, em fevereiro de 1924, ele quebrou o silêncio, revelando seus resultados em uma carta para Shapley, o porta-voz da teoria da galáxia única. Shapley tinha ajudado a calibrar a escala de distância de cefeidas de

Leavitt e agora via derrubada sua posição no Grande Debate. Quando leu a nota de Hubble ele disse: “Aqui está a carta que destruiu meu universo”.

Shapley tentou atacar os dados de Hubble, sugerindo que estrelas cefeidas, com períodos maiores do que vinte dias, não eram confiáveis como indicadores de distância, porque poucas cefeidas de período longo tinham sido estudadas. Também argumentou que a suposta variabilidade vista por Hubble nas estrelas de Andrômeda poderia ser uma ilusão criada pelo processo de revelação da fotografia ou do tempo de exposição. Hubble sabia que suas observações não eram perfeitas, mas não havia erro que fosse tão significativo a ponto de colocar Andrômeda de volta na Via Láctea. Assim, Hubble estava confiante em que Andrômeda estava a aproximadamente 900 mil anos-luz da Terra e nos anos seguintes ficaria claro que a grande maioria das galáxias estava ainda mais distante. As únicas exceções eram um pequeno número de galáxias anãs, como a Pequena Nuvem de Magalhães estudada por Henrietta Leavitt. Agora sabemos que ela é uma pequena galáxia-satélite, presa pela gravidade na periferia de nossa galáxia da Via Láctea.

O termo “nebulosa” fora usado, originalmente, para qualquer objeto celeste com uma aparência de nuvem, mas agora a maioria dessas nebulosas foram reclassificadas como galáxias. Contudo, descobriu-se que algumas nebulosas nada mais eram que nuvens de gás e poeira dentro de nossa Via Láctea, e no devido tempo o termo “nebulosa” passou a referir-se especificamente a essas nuvens. Apesar da existência dessas nebulosas de gás, relativamente pequenas, isso não alterou o fato de que muitas das nebulosas originais, como Andrômeda, eram na verdade galáxias e ficavam muito além da Via Láctea. O problema central do Grande Debate era saber se o universo estava cheio dessas galáxias, e Hubble tinha mostrado que isso era verdade.

Mas e quanto à nova de 1885 na galáxia de Andrômeda? Shapley tinha afirmado que seu brilho provava que Andrômeda não podia ser uma galáxia distante e independente, porque isso tornaria a nova insuportavelmente brilhante. De fato, agora sabemos que o evento de 1885 não era uma nova, e sim uma *supernova*, que é de fato “insuportavelmente” brilhante. Uma supernova é um fenômeno cataclísmico em uma escala totalmente diferente de uma nova comum. Ele ocorre quando uma única estrela explode e por um tempo breve torna-se mais brilhante do que bilhões de estrelas. Supernovas

são acontecimentos raros, e seu brilho ainda não era compreendido quando Curtis e Shapley defenderam seus pontos de vista em 1920.

E quanto ao outro alicerce no contra-argumento de Shapley? Se o universo era povoado de galáxias, então estas deveriam ser visíveis em todas as direções. E, no entanto, há muitas acima e abaixo do plano da Via Láctea, mas muito poucas no plano galáctico, chamado de zona de exclusão. Revelou-se que Curtis estava certo ao afirmar que esta zona de exclusão era uma conseqüência da poeira interestelar no plano da Via Láctea em forma de panqueca, obscurecendo nossa visão das galáxias além. A moderna tecnologia dos telescópios tem conseguido penetrar na poeira, e agora sabemos que há tantas galáxias nesta zona “vazia” quanto as que são visíveis nas outras direções.

À medida que as notícias da descoberta de Hubble se espalhavam, seus colegas começaram a aplaudir sua capacidade de resolver uma das mais longas disputas da astronomia. Henry Norris Russell, diretor do Observatório de Princeton, escreveu para Hubble: “É um belo trabalho e você merece o reconhecimento que vai lhe dar, que indubitavelmente será grande. Quando vai anunciá-lo em detalhe?”.

A descoberta de Hubble foi formalmente anunciada na reunião de 1924 da Associação Americana para o Progresso da Ciência, realizada em Washington, onde ele partilhou o prêmio de mil dólares para o trabalho mais extraordinário — o outro ganhador foi Lemuel Cleveland, por seu estudo inédito dos protozoários intestinais encontrados nos cupins. Uma carta do Conselho da Sociedade Americana de Astronomia destacou as implicações do trabalho de Hubble: “Abre profundezas do espaço antes inacessíveis à investigação e promete ainda maiores avanços no futuro próximo. Entrementes, o trabalho já expandiu cem vezes o volume conhecido do universo material e, ao que tudo indica, resolveu a antiga questão sobre a natureza das [nebulosas espirais] mostrando que são gigantescas aglomerações de estrelas quase comparáveis, em extensão, à nossa própria galáxia”.

Com uma única observação, captada em uma única chapa fotográfica, Hubble tinha mudado nossa visão do universo e nos forçara a reavaliar nossa posição dentro dele. Nossa minúscula Terra agora parecia mais insignificante do que nunca — apenas um entre muitos planetas, orbitando uma

entre muitas estrelas, dentro de uma entre muitas galáxias. De fato, mais tarde ficaria claro que nossa galáxia é apenas uma entre bilhões de galáxias, cada uma contendo bilhões de estrelas. Também a escala do universo era muito maior do que se imaginara. Shapley tinha argumentado que toda a matéria do universo estava contida dentro do disco da Via Láctea, da ordem de 100 mil anos-luz de diâmetro, mas Hubble provara que existiam outras galáxias a mais de 1 milhão de anos-luz da Via Láctea e além. Hoje conhecemos galáxias que estão a bilhões de anos-luz de distância.

Os astrônomos já estavam cientes dos imensos vazios entre os planetas e o nosso Sol, e também estavam familiarizados com os vazios ainda maiores entre as estrelas, mas agora tinham que analisar os vazios gigantescos entre as galáxias. Hubble usou suas observações para determinar que, se toda a matéria das estrelas e dos planetas fosse espalhada uniformemente pelo espaço, então a densidade cósmica média seria de um único grama de matéria num volume do tamanho de mil Terras. Tal densidade não está longe das modernas estimativas e mostra que habitamos uma região muito rica de espaço dentro de um universo geralmente vazio. “Nenhum planeta, estrela ou galáxia pode ser considerado típico, porque o cosmos é vazio na sua maior parte”, escreveu o astrônomo Carl Sagan. “O único lugar típico é o vasto e frio vácuo universal, na noite eterna do espaço intergaláctico, um lugar tão estranho e desolado que, por comparação, estrelas, planetas e galáxias parecem dolorosamente raros e adoráveis.”

As implicações das medidas de Hubble eram verdadeiramente sensacionais, e o próprio Hubble logo se tornou alvo do debate popular e da cobertura da imprensa. Um jornal o chamou de “o astrônomo titânico”. Ele também recebeu numerosos prêmios e condecorações, dentro e fora de seu país, e seus colegas foram rápidos em elogiá-lo. Herbert Turner, professor da cátedra saviliana de astronomia em Oxford, achava que “anos se passarão antes que Edwin compreenda a magnitude do que fez. É uma coisa que acontece apenas uma vez para a maioria dos homens, e quando são muito sortudos”.

Mas Hubble estava destinado a abalar novamente a astronomia nos anos que viriam, dessa vez com uma observação ainda mais revolucionária. Uma observação que forçaria os cosmólogos a reavaliarem sua suposição de um universo eterno e estático. De modo a conseguir o próximo salto, ele preci-

saria explorar uma tecnologia relativamente nova, que faria uso pleno do poder do telescópio e da sensibilidade da fotografia. Tal equipamento, conhecido como *espectroscópio*, permitia aos astrônomos sugarem os últimos fragmentos de informação da débil luz que chegava aos seus telescópios gigantes. Era um instrumento que tivera sua origem nas expectativas e ambições da ciência do século XIX.

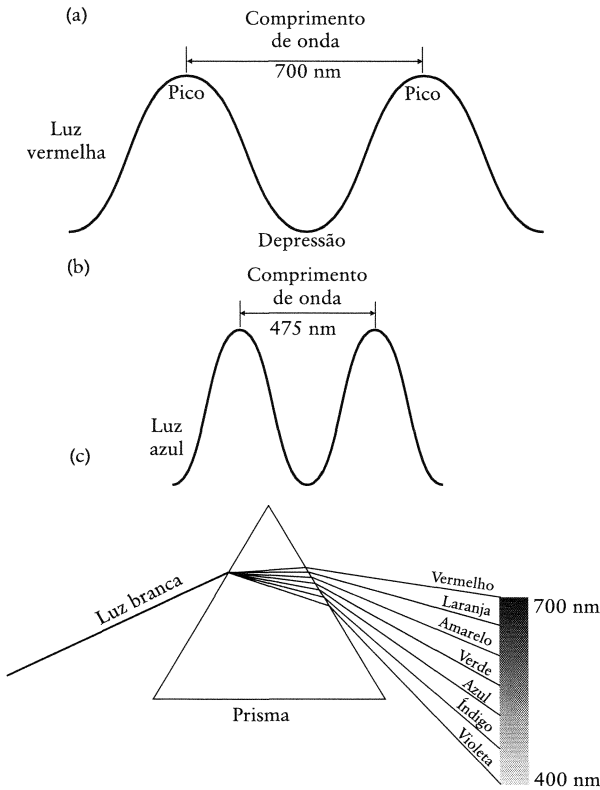
## Mundo em movimento

Em 1842, o filósofo francês Auguste Comte tentou identificar as áreas do conhecimento que permaneceriam para sempre além do alcance do empreendimento científico. Por exemplo, achou que algumas das características das estrelas nunca seriam determinadas: “Nós vemos como podemos determinar suas formas, sua distância, seu volume e seus movimentos, mas nunca poderemos saber nada sobre sua estrutura química ou mineralógica”.

De fato, seria provado que Comte estava errado dois anos depois de sua morte, quando os cientistas começaram a descobrir os tipos de átomos que existem dentro de nossa estrela mais próxima, o Sol. Para entender como os astrônomos decifriam a química das estrelas, é necessário primeiro entender a natureza da luz num nível básico. Em particular, existem três pontos-chave para se entender.

Primeiro, os físicos pensam na luz como uma vibração de campos elétricos e magnéticos, e esse é motivo de a luz e as formas de radiação a ela relacionadas serem conhecidas como *radiação eletromagnética*. Em segundo lugar, podemos pensar simplesmente na radiação eletromagnética ou na luz como sendo uma onda. E o terceiro ponto-chave é que a distância entre duas cristas vizinhas na onda de luz (ou entre depressões sucessivas), o *comprimento de onda*, nos revela quase tudo de que precisamos saber sobre uma onda de luz. Exemplos de comprimentos de onda são ilustrados na figura 51.

Por exemplo, a luz é uma forma de energia, e a quantidade de energia transportada por uma determinada onda de luz é inversamente proporcional ao comprimento de onda. Em outras palavras, quanto mais longo o com-



**Figura 51** A luz pode ser visualizada como uma onda. O comprimento de onda de uma onda de luz é a distância entre dois picos sucessivos (ou depressões) e nos diz quase tudo que precisamos saber sobre a onda de luz. Em especial, o comprimento de onda está relacionado com a cor e a energia da onda de luz. O diagrama (a) mostra uma onda de luz vermelha, de comprimento de onda mais longo e energia mais baixa. O diagrama (b) mostra uma onda de luz azul de comprimento de onda mais curto e energia mais alta. Os comprimentos de onda da luz visível têm menos de um milésimo de um milímetro, variando de aproximadamente 0,0004 mm para o violeta a 0,0007 mm para o vermelho. Geralmente os comprimentos de onda são medidos em nanômetros (nm); 1 nm é um bilionésimo de um metro. Assim a luz vermelha tem um comprimento de onda em torno de 700 nm.

Existem ondas de luz com comprimentos de onda mais curtos do que a luz azul (como radiação ultravioleta, raios X) e mais longos do que a luz vermelha (como radiação infravermelha, microondas), mas são invisíveis ao olho humano.

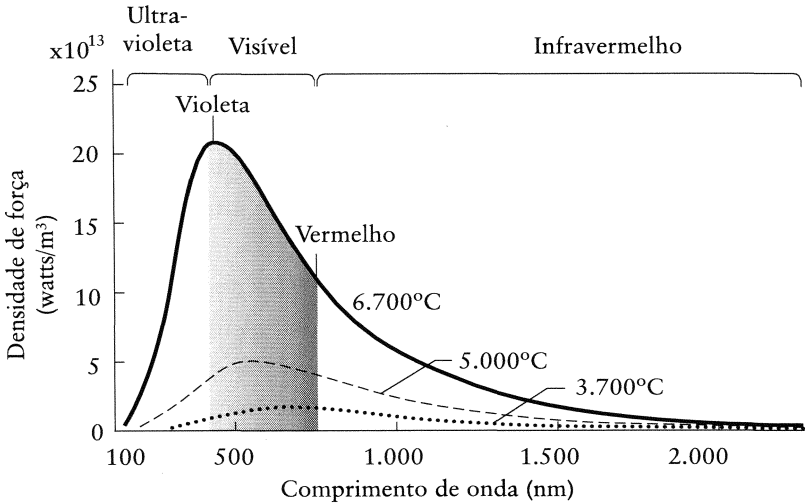
Um raio de luz branca é uma mistura de cores e comprimentos de onda, que se tornam aparentes quando a luz passa através de um prisma de vidro, porque o raio é dividido num arco-íris, como mostrado no diagrama (c). Isso acontece porque cada comprimento de onda se comporta de modo diferente. Em particular, cada comprimento de onda se curva num ângulo diferente enquanto entra e sai do vidro.



primento de onda, mais baixa a energia da onda de luz. Num nível humano, nós nos preocupamos menos com a energia da onda de luz, e no lugar dela usamos a cor como a característica básica para distinguir uma onda de luz da outra. As cores azul, índigo e violeta correspondem a ondas de luz de comprimento de onda mais curto e energias mais altas, enquanto o laranja e o vermelho correspondem a ondas de luz de comprimentos de onda mais longos e energia menor. O verde e o amarelo correspondem a comprimentos de onda e energias intermediárias.

Em especial, a luz violeta tem um comprimento de onda de aproximadamente 0,0004 milímetro e o vermelho tem um comprimento de onda de aproximadamente 0,0007 milímetro. Existem ondas com comprimentos de onda mais curtos e mais longos, mas nossos olhos não são sensíveis a elas. A maioria das pessoas usa a palavra “luz” para descrever apenas aquelas ondas que podemos ver, mas os físicos usam o termo de modo mais geral, para descrever toda forma de radiação eletromagnética, visível ou invisível ao olho humano. Luz com comprimentos de onda ainda mais curtos e energias mais elevadas que o violeta incluem a radiação ultravioleta e os raios X, enquanto luz com comprimentos de onda ainda mais longos e energias mais baixas do que a luz vermelha incluem a radiação infravermelha e as micro-ondas.

O aspecto crucial para os astrônomos é que as estrelas emitem ondas de luz, e eles esperavam que os comprimentos de onda da luz estelar pudessem revelar alguma coisa sobre a estrela que os emitiu, como por exemplo, sua temperatura. Quando um objeto chega à temperatura de  $500^{\circ}\text{C}$ , tem energia suficiente para emitir luz vermelha visível, e está aquecido ao rubro. À medida que a temperatura aumenta, o objeto tem mais energia e emite uma proporção maior de comprimentos de onda mais curtos, de alta energia e azulados, e se transforma, de aquecido ao rubro em aquecido ao branco, porque agora emite uma variedade de comprimentos de onda, do vermelho ao azul. O filamento de uma lâmpada incandescente padrão opera a uma temperatura de aproximadamente 3 mil graus, que certamente o deixa aquecido ao branco. Ao determinar a cor da luz estelar e a proporção dos diferentes comprimentos de onda emitidos por uma estrela, os astrônomos perceberam que podiam estimar sua temperatura. A figura 52 mostra a dis-



**Figura 52** Este gráfico mostra a faixa de comprimentos de onda de luz emitida por três estrelas com diferentes temperaturas de superfície. A curva principal mostra a distribuição dos comprimentos de onda emitidos por uma estrela com uma temperatura superficial de 6.700°C. A distribuição forma um pico nos comprimentos de onda do azul e do violeta, mas também emite outras cores do espectro visível. A estrela também irradia uma pequena quantidade de infravermelhos e uma grande quantidade de radiação ultravioleta, comprimentos de onda que são, respectivamente, mais longos e mais curtos do que os comprimentos de onda da luz visível. A curva do meio representa a distribuição dos comprimentos de onda emitidos por uma estrela com uma temperatura superficial mais fria, de 5.000° C. Seu pico está um comprimento de onda mais longo, no meio da região visível, assim a estrela emite uma boa mistura de cores. A curva mais baixa representa a distribuição de comprimentos de onda de uma estrela ainda mais fria (3.700°C). Sua distribuição chega ao máximo em comprimentos de onda ainda mais longos, produzindo uma quantidade significativa de luz vermelha e uma grande quantidade de radiação infravermelha invisível. Esta estrela tem uma aparência laranja-avermelhada.

Observando a faixa de comprimentos de onda emitidos por uma estrela, um astrônomo na Terra pode deduzir a sua temperatura. A distribuição de comprimentos de onda age como uma assinatura para a temperatura. Em resumo, quanto mais fria for uma estrela, maior será sua tendência a emitir comprimentos de onda mais longos e mais avermelhada vai parecer. Do lado oposto, quanto mais quente for uma estrela, maior será sua tendência a emitir comprimentos de onda curtos e mais azulada vai aparecer.

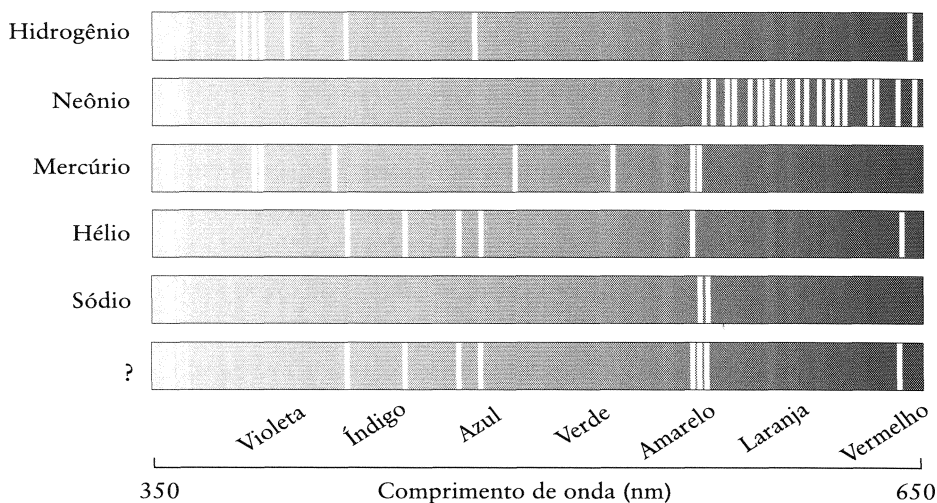
tribuição dos comprimentos de onda emitidos pelas estrelas com suas diferentes temperaturas de superfície.

Além de medir a temperatura de uma estrela, os astrônomos desenvolveram um meio de analisar a luz estelar de modo a identificar os ingredientes que formam a estrela. A técnica que usaram é baseada em uma pesquisa que data de 1752, quando o físico escocês Thomas Melvill fez uma observação curiosa. Ele colocou várias substâncias em uma chama e percebeu que cada uma produzia uma cor característica. Por exemplo, o sal de mesa produzia uma brilhante luz de cor laranja. Pode-se facilmente observar a assinatura laranja do sal salpicando uma pequena quantidade sobre a chama do fogão a gás.

A cor distintiva associada ao sal pode ser rastreada em sua estrutura até um nível atômico. O sal também é conhecido como cloreto de sódio, e a luz laranja é gerada pelos átomos de sódio dentro dos cristais de cloreto de sódio. Isso também explica por que as lâmpadas de sódio usadas na iluminação das ruas são laranja. Ao passar a luz do sódio através de um prisma, é possível analisar exatamente quais os comprimentos de onda emitidos e as duas emissões dominantes são ambas na região laranja do espectro, como mostrado na figura 53.

Cada tipo de átomo tem a capacidade de emitir comprimentos de onda de luz distintos (ou cores) dependendo de sua estrutura atômica. Os comprimentos de onda emitidos por outros elementos, além do sódio, também são mostrados na figura 53. O neon emite comprimentos de onda na extremidade vermelha do espectro, que é o que você esperaria, se já viu letreiros de neon. Por outro lado, o mercúrio emite vários comprimentos de onda azulados, o que explica o azul da iluminação de mercúrio. Além dos projetistas de lâmpadas, os fabricantes de fogos de artifício também estão interessados nos comprimentos de onda emitidos pelas diferentes substâncias e as usam para criar os efeitos desejados. Por exemplo, os fogos de artifício que contêm bário emitem luz verde, enquanto aqueles que contêm estrôncio emitem luz vermelha.

Os comprimentos de onda exatos emitidos por cada átomo agem como uma impressão digital. Assim, ao estudar os comprimentos de onda emitidos por uma substância aquecida, é possível identificar os átomos presentes naquela substância. O espectro na parte inferior da figura 53 é de um gás quen-

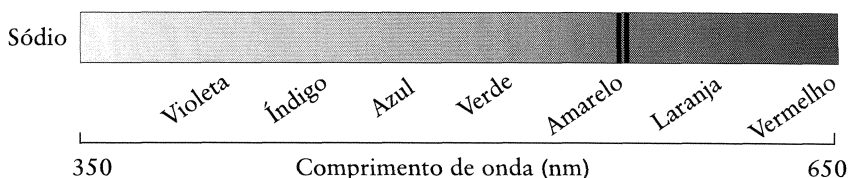


**Figura 53** A principal luz visível emitida pelo sódio está mostrada na quinta carta espectrográfica. Existem dois comprimentos de onda dominantes, em torno de  $0,000589$  mm ( $589$  nm) que correspondem à cor laranja. Esta carta representa a impressão digital do sódio. De fato, cada átomo tem sua própria impressão digital, o que é visível com as diferentes cartas de comprimento de onda. Um átomo pode exibir uma impressão digital ligeiramente diferente de acordo com seu ambiente, como acontece quando o átomo é submetido a uma grande pressão. A carta inferior é de um gás desconhecido. Ao comparar os comprimentos de onda emitidos com o das outras cartas, fica óbvio que o gás contém hélio e sódio.

te desconhecido, mas, ao comparar seus comprimentos de onda com os outros espectros, podemos ver que o gás contém hélio e sódio.

Essa ciência dos átomos, luz, comprimentos de onda e cores é conhecida como *espectroscopia*. O processo pelo qual uma substância emite luz é chamado de *emissão* espectroscópica. O processo oposto, a *absorção* espectroscópica, também existe, e acontece quando comprimentos de onda de luz específicos são absorvidos por um átomo. Assim, se todo um conjunto de comprimentos de onda de luz fosse dirigido para um sal vaporizado, a maior parte da luz passaria por ele sem ser afetada, mas alguns comprimentos de onda-chave seriam absorvidos pelos átomos de sódio no sal, como é mostra-

do na figura 54. Os comprimentos de onda absorvidos para o sódio são exatamente os mesmos emitidos, e essa simetria entre absorção e emissão é verdadeira para todos os átomos.

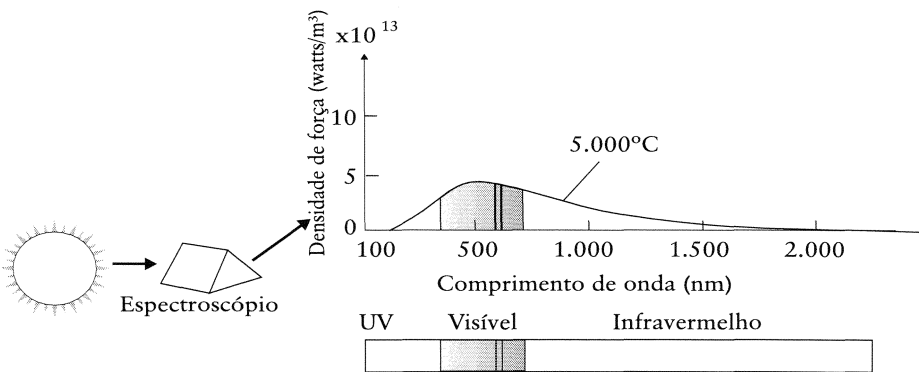


**Figura 54** A absorção espectroscópica é o processo oposto à emissão espectroscópica. Esta carta de absorção para o sódio é idêntica à mostrada na figura 53, só que é preta sobre cinza e não branca sobre cinza, porque estamos vendo todos os comprimentos de onda, exceto os dois comprimentos de onda absorvidos pelo sódio.

De fato, foi a absorção em lugar da emissão que atraiu a atenção dos astrônomos, que então levaram a espectroscopia dos laboratórios de química para os observatórios. Eles perceberam que a absorção poderia dar indícios para a composição das estrelas, a começar pelo Sol. A figura 55 mostra como a luz do Sol pode ser passada através de um prisma, de modo que o conjunto completo de comprimentos de onda possa ser estudado. O Sol é quente o bastante para emitir comprimentos de onda em toda a faixa da luz visível, mas os físicos do começo do século XIX perceberam que faltavam alguns comprimentos de onda específicos. Tais comprimentos de onda se revelavam como linhas negras finas no espectro solar. Não demorou muito para que alguém percebesse que os comprimentos de onda ausentes tinham sido absorvidos pelos átomos na atmosfera do Sol. De fato, os comprimentos de onda perdidos podiam ser usados para identificar os átomos que formam a atmosfera solar.

Embora muito do trabalho básico tenha sido feito por Joseph von Fraunhofer, um pioneiro alemão da óptica, foram Robert Bunsen e Gustav Kirchhoff que fizeram a descoberta crucial por volta de 1859. Juntos, eles construíram um *espectroscópio*, um instrumento especialmente projetado para medir com precisão os comprimentos de onda da luz emitida por um

objeto. Eles o usaram para analisar a luz do Sol e conseguiram identificar dois dos comprimentos de onda ausentes como sendo os associados ao sódio, concluindo, portanto, que o sódio devia existir na atmosfera solar.



**Figura 55** O Sol é quente o bastante para emitir a faixa completa de comprimentos de onda da luz visível, do vermelho ao violeta, assim como o ultravioleta e o infravermelho. A luz do Sol pode ser estudada ao passar pelo espectroscópio, que incorpora um prisma de vidro, ou algum outro equipamento, que espalha a luz de modo que todos os seus comprimentos de onda se tornam discerníveis. O gráfico mostra a distribuição dos comprimentos de onda que esperaríamos ver sendo emitidos por um corpo tão quente quanto o Sol, só que dois comprimentos de onda em especial estão ausentes. Eles correspondem à absorção pelo sódio. A carta de comprimentos de onda embaixo do gráfico mostra o modo como as linhas de absorção geralmente aparecem na placa fotográfica de um astrônomo, mas as medições reais podem ser bem menos distintas. Na realidade, estudos detalhados da luz solar mostraram a ausência de centenas de comprimentos de onda no espectro solar. Esses comprimentos de onda foram absorvidos pelos vários átomos na atmosfera do Sol, e medindo-se os comprimentos de onda dessas linhas de absorção escuras foi possível identificar os átomos que formam o Sol.

“Atualmente eu e Kirchhoff estamos envolvidos num trabalho comum que não nos deixa dormir”, escreveu Bunsen. “Kirchhoff fez uma descoberta maravilhosa, totalmente inesperada, ao encontrar a causa das linhas ausentes no espectro solar... assim, foi encontrado um meio de determinar a composição do Sol e das estrelas fixas, com a mesma precisão com que de-

terminamos o cloro ou o ácido sulfúrico como nossos reagentes químicos.” A afirmação de Comte de que os seres humanos nunca poderiam identificar a constituição das estrelas se demonstrava errada.

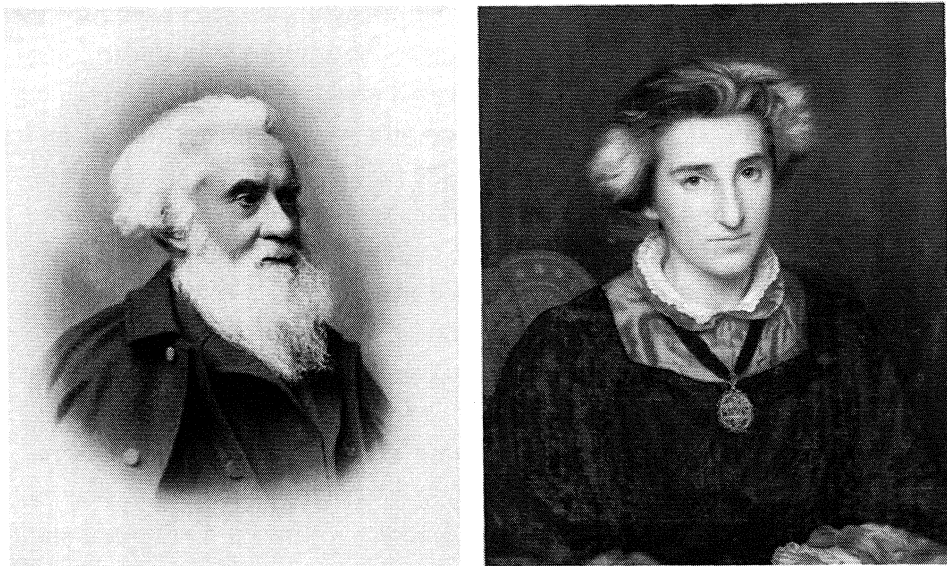
Kirchhoff passou a procurar indícios de outros materiais, como os metais pesados, na atmosfera do Sol. O gerente do seu banco não ficou impressionado e perguntou-lhe: “Mas que utilidade terá ouro no Sol se não puder trazê-lo para a Terra?”. Muitos anos depois, quando recebeu uma medalha de ouro por sua pesquisa, Kirchhoff fez uma visita triunfante ao bancário de mente estreita e disse-lhe: “Aqui está o ouro do Sol”.

Essa técnica da espectroscopia estelar era tão poderosa que, em 1868, o inglês Norman Lockyer e o francês Jules Janssen descobriram, de modo independente, um elemento no Sol antes que ele fosse identificado na Terra. Eles identificaram uma linha de absorção na luz solar que não correspondia à de qualquer átomo conhecido, assim Lockyer e Janssen a consideraram como prova de um tipo completamente novo de átomo. Este foi chamado de hélio, do deus grego do Sol, Helios.

Embora o hélio corresponda a 1/4 da massa do Sol, ele é muito raro na Terra e se passariam 25 anos antes que fosse detectado em nosso planeta. Então Lockyer recebeu o título de cavaleiro.

William Huggins era outro cientista que apreciava o poder da espectroscopia. Quando jovem, ele fora forçado a assumir a direção da loja de tecidos do pai, mas posteriormente resolveu vender o negócio da família e seguir seu sonho científico. Usou o dinheiro para instalar um observatório em Upper Tulse Hill, hoje um subúrbio de Londres. Quando ouviu falar nas descobertas espectroscópicas de Bunsen e Kirchhoff, ele ficou encantado: “Essas notícias foram para mim como a descoberta de uma fonte de água fresca em uma terra seca e desolada”.

Durante a década de 1860, ele aplicou a espectroscopia para estudar as estrelas além do Sol e confirmou que elas também continham os mesmos elementos existentes na Terra. Por exemplo, ele viu que o espectro da estrela Betelgeuse continha linhas escuras que pareciam corresponder aos comprimentos de onda absorvidos por átomos de sódio, magnésio, cálcio, ferro e bismuto. Os antigos filósofos tinham afirmado que as estrelas eram feitas de quintessência, um quinto elemento além dos elementos terrestres mundanos



**Figura 56** O sr. e a sra. Huggins, que foram os pioneiros no uso da espectroscopia na astronomia para medir a velocidade das estrelas.

como o ar, a terra, o fogo e a água. Mas Huggins tinha conseguido mostrar que Betelgeuse, e presumivelmente todo o universo, era feito dos mesmos materiais encontrados na Terra. Huggins concluiu: “Um objetivo importante dessa investigação espectroscópica original da luz das estrelas e de outros corpos celestes, ou seja, o de descobrir se os mesmos elementos químicos da nossa Terra estão presentes no universo, foi satisfatoriamente determinado como afirmativo. Mostrou-se que uma química comum existe em todo o universo”.

Huggins continuou a estudar as estrelas pelo resto de sua vida, acompanhado pela esposa, Margaret, e seu cachorro Kepler. Margaret Huggins era também uma astrônoma talentosa e 24 anos mais nova que seu marido. Assim, quando William chegou à idade de 84, aproximando-se do final de sua carreira como astrônomo, ele podia contar com a animada esposa de sessenta anos para andar em torno do telescópio fazendo os ajustes necessários. “Astrônomos precisam de juntas universais e vértebras feitas de borracha

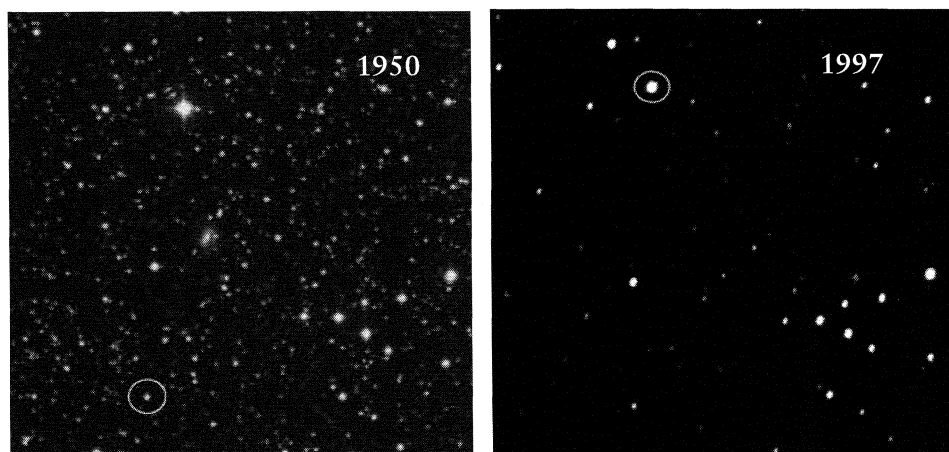


indiana”, queixava-se ela. Juntos, o sr. e a sra. Huggins desenvolveram uma aplicação totalmente nova para a espectroscopia. Uma aplicação que transformaria nossa visão do universo. Além de determinar os componentes de uma estrela, eles demonstraram como a espectroscopia podia ser usada para medir a velocidade da estrela.

Seguindo Galileu, os astrônomos haviam suposto que as estrelas eram estacionárias. Embora todas se movessem através do céu, a cada noite, eles imaginavam que esse movimento aparente era causado pela rotação da Terra. Em particular, supunham que as posições das estrelas em relação às outras permanecessem as mesmas. Na verdade isso era falso, como observou em 1718 o astrônomo inglês Edmund Halley. Depois de levar em consideração o movimento da Terra, ele percebeu diferenças sutis nas posições registradas das estrelas Sirius, Arcturus e Procion em comparação com as medições feitas por Ptolomeu muitos séculos antes. Halley percebeu que tais diferenças não eram devidas a medições inexatas e sim o resultado de mudanças genuínas nas posições das estrelas com o tempo.

Se tivessem instrumentos de medição precisos e telescópios infinitamente poderosos, os astrônomos teriam conseguido detectar o chamado *movimento próprio* de cada estrela. Mas na realidade as estrelas mudam de posição tão gradualmente que até mesmo os astrônomos modernos mal conseguem detectar as mudanças nas posições estelares. De modo geral, a detecção do movimento próprio exige observações cuidadosas das estrelas mais próximas feitas, ao longo de vários anos, como mostrado na figura 57. Em outras palavras, medir o movimento próprio até mesmo de nossas vizinhas estelares mais próximas foi uma batalha. Outra limitação no estudo do movimento próprio é que se trata de uma medida do movimento através do céu, e não nos diz nada em relação ao movimento em direção ou para longe da Terra, o que é conhecido como *velocidade radial*. Em resumo, a detecção do movimento próprio nos deu apenas um conhecimento limitado das velocidades estelares.

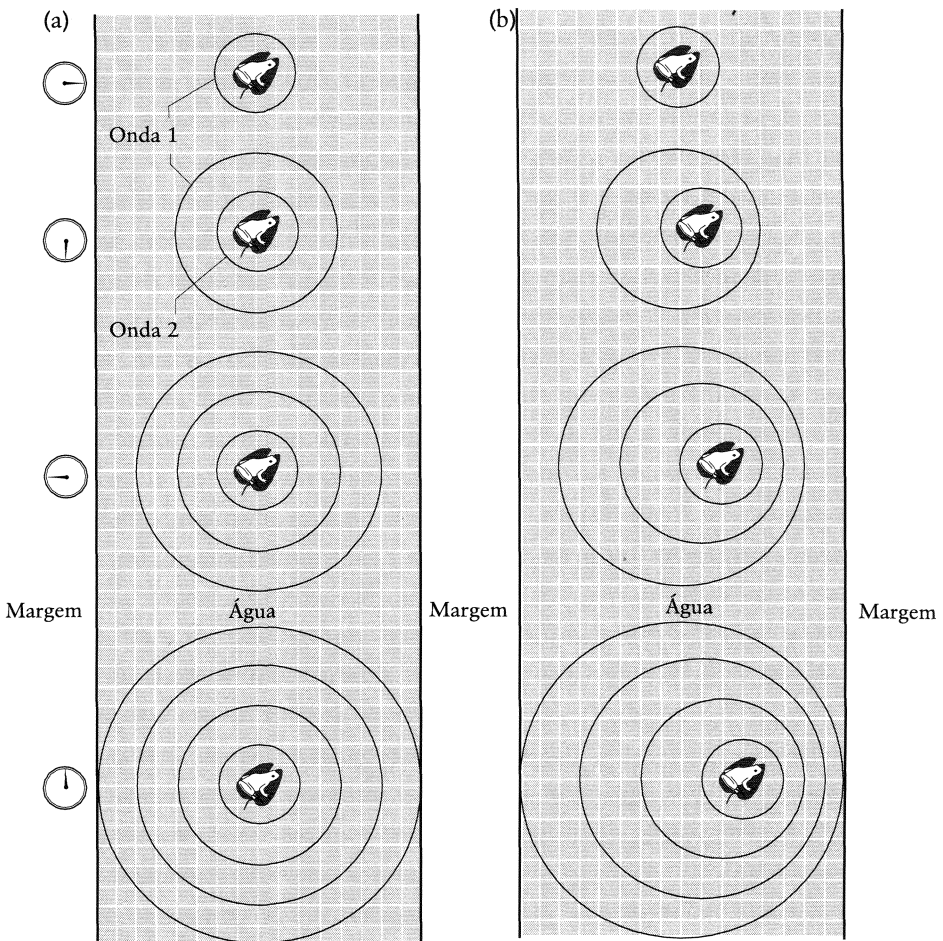
William Huggins, entretanto, percebeu que seria capaz de explorar a espectroscopia para compensar as duas inadequações das medidas de movimento próprio. Sua nova técnica espectroscópica poderia ser usada para medir com precisão a velocidade radial de qualquer estrela e ser aplicada até



**Figura 57** A estrela de Barnard (no círculo) é a segunda estrela mais próxima do nosso Sistema Solar e aquela com o maior movimento próprio. Move-se através do céu a dez segundos por ano. Estas imagens foram feitas com quase meio século de diferença e mostram que a estrela mudou de posição significativamente em relação às outras. Para apreciar a mudança, as estrelas formando um  $\angle$  à direita, embaixo, fornecem uma referência útil.

mesmo às estrelas mais distantes. Sua idéia consistia em unir o espectroscópio a um conhecimento da física que fora descoberto pelo cientista austríaco Christian Doppler.

Em 1842, Doppler anunciou que o movimento de um objeto poderia afetar quaisquer ondas que este estivesse emitindo, fossem ondas de água, de som ou de luz. Para uma ilustração simples deste *efeito Doppler*, imagine uma rã relaxando em cima de uma folha flutuante de lírio-d'água. Ela bate com sua pata espalmada na água uma vez a cada segundo, gerando uma série de ondas que têm uma separação de um metro e que se deslocam a um metro por segundo, como mostrado na figura 58. Se estivéssemos olhando de cima e a folha estivesse imóvel, então veríamos as cristas das ondas formando uma série de anéis concêntricos simétricos, como mostrado na coluna (a) da figura 58. Observadores em cada margem poderiam ver as ondas chegando com espaços de um metro.



**Figura 58** Uma rã em uma folha de lírio-d'água está emitindo ondas através da água uma vez a cada segundo e com um metro de separação. Quando a rã está estacionária, como mostrado na série de diagramas da coluna (a), os observadores em ambas as margens vêem as ondas chegarem com intervalos de um metro. Contudo, quando a rã flutua para a margem direita com uma velocidade constante de  $0,5 \text{ m/s}$ , coluna (b), os observadores testemunham dois efeitos diferentes. Na direção na qual a rã está se movendo, as ondas parecem se comprimir, enquanto na direção oposta elas ficam mais espaçadas. Isso é uma consequência de a rã estar se movendo na direção ou para longe das frentes de onda enquanto emite a onda seguinte. Este é um exemplo do efeito Doppler nas ondas de água.

Mas as coisas mudam se a rã estiver em movimento, como mostrado na coluna (b). Imagine que a folha de lírio-d'água e a rã flutuam em direção à margem direita com uma velocidade de 0,5 m/s e que a rã continua a gerar uma onda por segundo e as ondas ainda se deslocam pela água com a velocidade de 1 m/s. Desta vez o resultado é um amontoado de ondas em direção à qual a rã está se movendo, e um aumento no espaçamento entre as ondas na direção oposta. Um observador na margem direita vê as ondas chegando com apenas 0,5 metro de separação, enquanto o outro observador percebe um espaçamento de 1,5 metro. Um observador vê uma redução no comprimento de onda enquanto o outro vê um aumento. Isto é o efeito Doppler.

Em resumo, quando um objeto que emite ondas se move na direção de um observador, este percebe um decréscimo no comprimento de onda, enquanto que, no caso de um emissor se afastando do observador, ele perceberá um aumento no comprimento de onda. Ou então o emissor pode estar estacionário e o observador em movimento, e nesse caso os mesmos efeitos aparecem.

O efeito Doppler foi testado para as ondas de som em 1845 pelo meteorologista holandês Christoph Buys-Ballot, que, na verdade, queria provar que o efeito não existia. Trompetistas foram divididos em dois grupos e instruídos a tocar a nota mi bemol. Um grupo de trompetistas tocava em cima de um vagão ferroviário aberto em movimento num trecho da recém-inaugurada ferrovia entre Utrecht e Maarsen, enquanto o outro grupo permanecia na plataforma da estação. Quando ambos os grupos estavam parados as notas eram as mesmas, mas quando o vagão se aproximava, as pessoas com ouvido treinado para música podiam perceber que uma nota se tornara mais alta e ficava cada vez mais aguda à medida que a velocidade do vagão aumentava. E, quando o vagão se afastava, a nota ficava mais grave. A mudança de altura musical é associada a uma mudança no comprimento das ondas de som.

Hoje em dia podemos ouvir o mesmo efeito com a sirene de uma ambulância, que parece ter um som mais agudo (comprimentos de onda mais curtos) à medida que a ambulância se aproxima e então um som mais grave (comprimento de onda mais longo) à medida que se afasta. A transição entre o som mais agudo e grave à medida que a ambulância passa por nós é bem

perceptível. Os carros de Fórmula 1, com sua alta velocidade, demonstram de modo mais claro o efeito Doppler enquanto passam — o motor faz um som distintamente “iiiiiiuuuuuuu” indo de uma frequência mais alta para uma mais baixa.

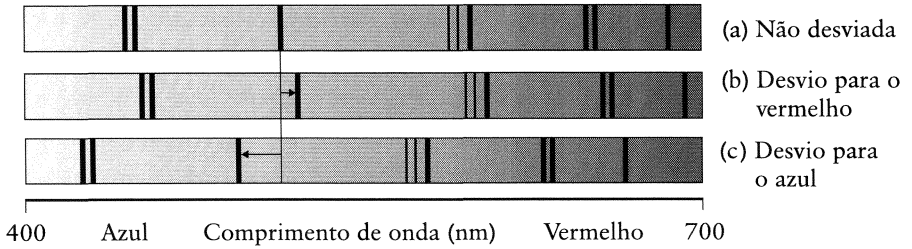
Tal mudança em frequência e altura de som é extremamente previsível graças a uma equação desenvolvida por Doppler. O comprimento de onda recebido ( $\lambda_r$ ) depende do comprimento de onda emitido inicialmente ( $\lambda$ ) e a proporção entre a velocidade do emissor ( $v_e$ ) e a velocidade da onda ( $v_w$ ). Se o emissor está viajando em direção ao observador, então  $v_e$  é considerado positivo, e se ele estiver se afastando do observador será negativo:

$$\lambda_r = \lambda \times \left(1 - \frac{v_e}{v_w}\right)$$

Podemos agora fazer um cálculo aproximado para determinar a mudança no comprimento de onda da sirene de uma ambulância que passa correndo. A velocidade das ondas de som no ar ( $v_w$ ) é aproximadamente 1.000 km/h, e a velocidade da ambulância ( $v_e$ ) pode ser de 100 km/h, assim o comprimento de onda aumenta ou diminui de 10% dependendo da direção da ambulância.

Um cálculo semelhante nos dará a mudança no comprimento de onda da luz azul que pisca no teto da ambulância. Dessa vez a onda viaja com a velocidade da luz, assim  $v_w$  é aproximadamente 300.000 km/s que é 1.000.000.000 km/h e a velocidade da ambulância ( $v_e$ ) ainda é de 100 km/h. Portanto, o comprimento de onda muda de 0,00001%. Essa diferença no comprimento de onda e na cor será imperceptível ao olho humano. De fato, no nosso dia-a-dia nunca percebemos nenhuma forma de desvio Doppler em relação à luz porque mesmo os nossos veículos mais rápidos são extremamente lentos comparados com a velocidade da luz. Entretanto, Doppler previu que o desvio Doppler óptico era um efeito genuíno e poderia ser detectado desde que o emissor se movesse com velocidade suficiente e o equipamento de detecção fosse sensível o bastante.

E realmente, em 1868, William e Margareth Huggins conseguiram detectar um desvio Doppler no espectro da estrela Sirius. As linhas de absorção de Sirius eram quase idênticas às do espectro solar, mas o comprimento de



**Figura 59** Os três espectros mostram como a luz emitida por uma estrela depende de seu movimento radial. O espectro (a) mostra os comprimentos de onda de algumas linhas de absorção de uma estrela (como o Sol) que não está nem se aproximando nem se afastando da Terra. O espectro (b) mostra linhas de absorção desviadas para o vermelho de uma estrela que está se afastando da Terra — as linhas são idênticas, mas foram deslocadas para a direita. O espectro (c) mostra linhas de absorção desviadas para o azul de uma estrela que se move em direção à Terra — novamente as linhas são idênticas, só que, desta vez, foram todas desviadas para a esquerda. A estrela desviada para o azul está se movendo em nossa direção mais rapidamente do que a estrela desviada para o vermelho se afasta, porque o desvio para o azul é maior do que para o vermelho.

onda de cada linha tinha um aumento de 0,015%. Isso, presumivelmente, se devia ao fato de Sirius estar se afastando da Terra. Lembre-se de que o movimento de um emissor que se afasta do observador faz com que sua luz seja percebida como tendo um comprimento de onda mais longo. Um aumento no comprimento de onda é freqüentemente chamado de *desvio para o vermelho*, porque o vermelho se encontra na extremidade de comprimento de onda mais longo do espectro. De modo semelhante, um decréscimo no comprimento de onda provocado por um emissor que se aproxima é chamado de *desvio para o azul*. Ambos os tipos de desvio são mostrados na figura 59.

Embora a equação de Doppler precisasse ser modificada, mais tarde, para ficar de acordo com a teoria da relatividade de Einstein, a versão do século XIX era satisfatória para os propósitos de Huggins, e ele pôde calcular a velocidade com que Sirius estava se afastando da Terra. Ele tinha medido os comprimentos de onda de Sirius como tendo um aumento de 0,015%, assim a relação entre os comprimentos de onda recebido e padrão era tal que  $\lambda_r = \lambda \times 1,00015$ . E ele sabia que a velocidade das ondas era a velocidade da luz, assim  $v_w$  era 300.000 km/s. Rearrmando a equação e introduzin-

do os números, ele pôde mostrar que Sirius estava se afastando com a velocidade de 45 km/s:

$$\text{Nós sabemos que } \lambda = \lambda \times \left(1 - \frac{v_e}{v_w}\right) \text{ e } \lambda_r = \lambda \times 1,00015$$

$$\text{Assim, } 1,00015 = \left(1 - \frac{v_e}{v_w}\right)$$

$$\begin{aligned} v_e &= -0,00015 \times v_w \\ &= -0,00025 \times 300.000 \text{ km/s} \\ &= -45 \text{ km/s} \end{aligned}$$

William Huggins, o ex-vendedor de tecidos que tinha perseguido seu sonho de praticar a astronomia, provara que podia medir as velocidades das estrelas. Que cada estrela continha elementos terrestres comuns (por exemplo, o sódio) que emitiam comprimentos de onda específicos, mas esses comprimentos de onda podiam sofrer um desvio Doppler devido à velocidade radial da estrela. E, ao medir esses desvios, a velocidade da estrela podia ser calculada. Seu método tinha um potencial imenso porque qualquer estrela visível ou nebulosa podia ser analisada com o espectroscópio e assim ter o desvio Doppler medido e sua velocidade, determinada. Além do movimento próprio da estrela através do céu, era agora possível medir sua velocidade radial, em direção ou para longe da Terra.

Usar o desvio Doppler para medir velocidade é uma técnica desconhecida pela maioria das pessoas, mas realmente funciona. De fato, ela é tão confiável que algumas forças policiais usam os desvios Doppler para identificar motoristas em excesso de velocidade. O policial dispara um pulso de ondas de rádio, que são uma parte invisível do espectro luminoso, na direção de um carro que se aproxima, e então o detecta depois que o pulso foi refletido de volta pelo carro. O pulso que retorna foi efetivamente emitido por um objeto em movimento, o carro, assim seu comprimento de onda foi desviado em um valor que dependerá da velocidade do carro. Quanto mais rápido o carro, maior o desvio e mais alta a multa pelo excesso de velocidade.

Uma história fantástica explica como um astrônomo que dirigia para seu observatório tentou usar o efeito Doppler para enganar a polícia. Tendo sido apanhado avançando um sinal vermelho, o astrônomo afirmou que a luz lhe parecera verde porque ele estava se movendo em direção a ela, e portanto ela fora desviada na direção do azul. O policial o perdoou da infração de avanço de sinal e aplicou-lhe uma multa duas vezes maior por excesso de velocidade. Para registrar uma mudança tão drástica de comprimento de onda, o astrônomo teria de estar dirigindo a uma velocidade de aproximadamente 200.000.000 km/h.

No início do século XX, os espectroscópios tinham se tornado uma tecnologia aperfeiçoada e podiam ser acoplados aos novos telescópios gigantes recém-construídos e às mais novas chapas fotográficas de alta sensibilidade. Essa trindade tecnológica oferecia aos astrônomos uma oportunidade sem paralelo para explorar a constituição das estrelas e suas velocidades. Identificando os comprimentos de onda ausentes em uma estrela em especial, os astrônomos podiam identificar seus componentes, que se revelaram como sendo principalmente hidrogênio e hélio. Então, medindo como essas linhas tinham sido deslocadas, os astrônomos podiam constatar que algumas estrelas estavam se movendo em direção à Terra enquanto outras estavam se afastando, com as mais lentas percorrendo alguns quilômetros em um segundo e as mais rápidas zunindo a 50 km/s. Para colocar essa velocidade num contexto conhecido, vamos dizer que, se um avião pudesse voar tão veloz quanto a estrela mais rápida, ele seria capaz de cruzar o oceano Atlântico num par de minutos.

Em 1912, um ex-diplomata que se tornara astrônomo registrou uma medida de velocidade num território não explorado. Vestu Slipher tornou-se o primeiro astrônomo a medir com sucesso o desvio Doppler de uma nebulosa. Ele usou o telescópio Clarke, um refrator de 24 polegadas do Observatório Lowell em Flagstaff, no Arizona. O telescópio fora financiado por uma doação de Percival Lowell, um rico aristocrata de Boston que ficara obcecado pela convicção de que Marte era o lar de seres inteligentes e queria, desesperadamente, encontrar provas de uma civilização marciana. Os interesses de Slipher eram mais comuns que os de Lowell, e sempre que possível ele apontava o telescópio para as nebulosas.



Slipher fez uma exposição de quarenta horas, ao longo de várias noites da nebulosa de Andrômeda (que depois seria reconhecida como uma galáxia) e mediu um desvio Doppler para o azul equivalente a 300 km/s, seis vezes mais rápido do que qualquer estrela. Em 1912, a opinião majoritária era de que Andrômeda estava dentro de nossa Via Láctea, assim os astrônomos não podiam acreditar que um objeto local pudesse ter uma velocidade tão alta. Até Slipher duvidou de suas próprias medidas e, para confirmar que não cometera um erro, apontou seu telescópio para a nebulosa que hoje conhecemos como galáxia do Sombrero. Dessa vez ele descobriu um desvio para o vermelho, e o efeito Doppler era ainda mais extremo. A Sombrero estava desviada para o vermelho de tal forma que devia estar se afastando da Terra a 1.000 km/s. Isto se aproxima de 1% da velocidade da luz. Se um avião pudesse viajar a essa velocidade, ele voaria de Londres a Nova York em seis segundos.

Nos anos seguintes, Slipher mediu as velocidades de um número crescente de galáxias, e ficou claro que elas de fato se deslocavam a velocidades fenomenais. Entretanto, um novo enigma começou a surgir. As duas primeiras medições tinham mostrado que uma galáxia estava se aproximando (desviada para o azul) e outra se afastava (desviada para o vermelho), mas as primeiras 12 medições revelaram que mais galáxias estavam se afastando do que se aproximando. Em 1917, Slipher tinha medido 25 galáxias, 21 das quais estavam se afastando e apenas quatro se aproximavam. Na década seguinte, mais vinte galáxias foram acrescentadas à lista, e todas estavam se afastando. Praticamente todas as galáxias pareciam estar fugindo da Via Láctea, como se nossa galáxia estivesse com um problema de fedor cósmico.

Alguns astrônomos acreditavam que as galáxias fossem aproximadamente estáticas, flutuando no vazio, mas estava claro que não era o que acontecia. Outros pensaram que a distribuição de suas velocidades fosse equilibrada, com algumas se aproximando e outras se afastando; mas esse também não era o caso. O fato de que as galáxias tivessem uma tendência distinta para se afastarem em lugar de se aproximarem confundia todas as expectativas. Slipher e outros tentaram entender a imagem que surgia. Várias explicações estranhas e maravilhosas foram propostas, mas não se chegou a um consenso.

O caso das galáxias fugitivas permaneceu um mistério até que Edwin Hubble aplicou sua mente e seu telescópio ao problema. Quando entrou no

debate, ele não viu utilidade alguma em fazer teorias loucas, principalmente quando a potência do poderoso telescópio de cem polegadas de Monte Wilson prometia novos dados. Seu lema era simples: “Enquanto os resultados empíricos não estiverem esgotados, não devemos passar para os reinos oníricos da especulação”.

Não demorou muito para que Hubble fizesse as observações vitais para encaixar as medições de Slipher num novo modelo coerente do universo. Inconscientemente, Hubble estava a ponto de fornecer a primeira grande prova que respaldava o modelo de criação cosmológica de Lemaître e Friedmann.

## **A lei de Hubble**

Nos anos posteriores à sua medição da distância das nebulosas, e à comprovação de que muitas eram galáxias independentes, Edwin Hubble tinha firmado sua autoridade no mundo da astronomia. Ao mesmo tempo, houve um grande acontecimento em sua vida pessoal, porque ele conheceu e se apaixonou por Grace Burke, filha de um milionário banqueiro local. De acordo com Grace, ela se apaixonara por Hubble quando visitara Monte Wilson e o vira a olhar intensamente para uma chapa fotográfica que mostrava um campo de estrelas. Mais tarde, ela se lembraria de que ele lhe parecera “uma criatura do Olimpo, alto, forte, belo, com os ombros de um Hermes de Praxíteles... Ele transmitia um sentimento de poder, canalizado e dirigido para uma aventura que não tinha nada a ver com a ambição pessoal e suas ansiedades e ausência de paz. Ali havia um esforço concentrado e ao mesmo tempo um distanciamento. A força era controlada”.

Grace já era casada quando conheceu Hubble, mas ficou viúva em 1921, quando seu marido Earl Leib, um geólogo, morreu ao cair no poço de uma mina quando coletava amostras de minérios. Depois de retomar a amizade e um período de corte, Edwin casou-se com Grace em 26 de fevereiro de 1924.

Graças à solução que Hubble dera ao Grande Debate e à publicidade que se seguiu, Edwin e Grace viram-se lançados à lista principal de celebridades. Monte Wilson fica a apenas 25 quilômetros de Los Angeles, e os dois tornaram-se figuras fáceis no circuito social de Hollywood. Os Hubble iam jantar com atores

como Douglas Fairbanks e conversavam com figuras como Igor Stravinski, enquanto nomes famosos como Leslie Howard e Cole Porter iam visitar Monte Wilson, levando um toque de encantamento para o observatório.

Hubble se regalava com seu *status* de astrônomo mais famoso do mundo e apreciava animar seus convidados, estudantes e jornalistas com histórias sobre seu pitoresco passado. Tendo sido dominado pelo pai durante toda a juventude, Hubble agora tinha prazer em se exibir para um público que o adorava. Frequentemente ele contava a história de como tinha duelado com espadas no tempo que passara na Europa. Seus amigos adoravam ouvir esse episódio, mas, quando seu pai tomara conhecimento desses duelos, ele o repreendera e lembrara a Edwin que “a cicatriz de um duelista não é uma medalha de honra”.

Mas, apesar de sua fama e de seu estilo de vida como celebridade, Hubble nunca se esqueceu de que era, acima de tudo, um astrônomo pioneiro. Considerava-se um gigante colocado sobre os ombros de gigantes, um sucessor natural ao trono previamente ocupado por Copérnico, Galileu e Herschel. Enquanto estava em lua-de-mel na Itália, ele levou Grace até a tumba de Galileu para prestar homenagem ao homem cujo trabalho fornecera os fundamentos para sua grande descoberta.

Naturalmente, quando Hubble ouviu falar na preponderância de galáxias desviadas para o vermelho, nas observações de Slipher, ele se sentiu compelido a entrar na polêmica e resolver o mistério. Para ele, era seu dever, como o maior astrônomo de sua época, encontrar um sentido para as galáxias fugitivas. Ele começou a trabalhar em Monte Wilson, onde o telescópio de cem polegadas captava 17 vezes mais luz do que o telescópio de Slipher, no Observatório Lowell. Passou noite após noite trabalhando em uma escuridão quase contínua, de modo que seus olhos ficassem sensibilizados às trevas do céu noturno. A única iluminação que se permitia quebrar a escuridão monótona dentro da grande cúpula do observatório era o brilho suave e ocasional de seu cachimbo.

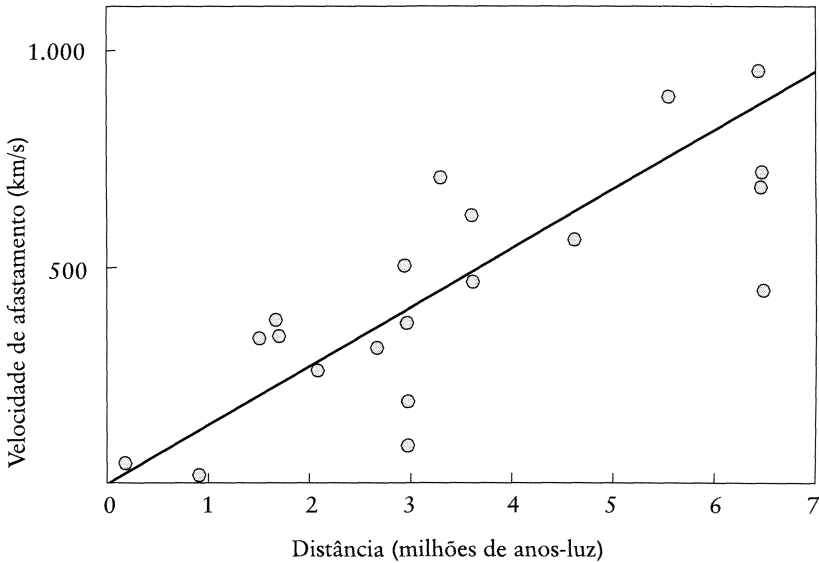
O assistente de Hubble era Milton Humason, que tinha uma origem humilde e se tornou o melhor fotógrafo astronômico do mundo. Humason havia abandonado a escola com a idade de 14 anos e então trabalhara como mensageiro no Hotel Monte Wilson, que fornecia hospedagem para os astrônomos visitantes. Ele foi então nomeado condutor de mulas do observatório, ajudando a levar mantimentos e equipamentos até o topo da montanha.

Em seguida, Humason conseguiu o emprego de zelador no observatório e, a cada noite que passava lá, aprendia mais e mais sobre o que os astrônomos estavam fazendo e sobre as técnicas de fotografia que empregavam. Ele até mesmo persuadiu alguns estudantes a lhe darem aulas de matemática. A notícia de que Monte Wilson tinha um zelador curioso com um crescente conhecimento de astronomia se espalhou e, três anos depois de entrar para o observatório, Humason foi nomeado para trabalhar na divisão fotográfica. Dois anos depois, tornou-se astrônomo assistente.

Hubble passou a gostar de Humason, e os dois homens formaram uma parceria incomum. Hubble mantinha a sua postura de cavalheiro inglês distinto enquanto Humason passava as noites nubladas jogando baralho e bebendo um fermentado alcóólico ilegal conhecido como “suco de pantera”. Seu relacionamento se apoiava na crença de Hubble de que “a história da astronomia é a história do recuo dos horizontes”, e Humason era capaz de produzir as imagens que permitiam a Hubble penetrar mais fundo no universo do que qualquer outro astrônomo no mundo. Enquanto fotografava uma galáxia, Humason conservava os dedos permanentemente sobre os botões que orientavam o telescópio, mantendo a galáxia fixa no campo de visão e compensando qualquer erro do mecanismo de rastreamento. Hubble admirava a paciência de Humason e sua atenção meticulosa aos detalhes.

Para explorar o mistério do desvio para o vermelho de Slipher, a dupla dividia o trabalho. Humason media os desvios Doppler das várias galáxias, enquanto Hubble media suas distâncias. O telescópio fora equipado com uma nova câmara e espectroscópio, de modo que fotografias que antes levavam várias noites de exposição podiam ser tiradas em poucas horas. Eles começaram confirmando os desvios para o vermelho medidos por Slipher e, por volta de 1929, Hubble e Humason já tinham medido os desvios para o vermelho e as distâncias de 46 galáxias. Infelizmente, a margem de erro na metade dessas medidas era muito grande. Cauteloso, Hubble usou apenas as galáxias em cujas medidas ele tinha confiança e traçou um gráfico de velocidade em relação à distância para cada galáxia, como mostrado na figura 60.

Em quase todos os casos, as galáxias estavam desviadas para o vermelho, o que implicava que elas estavam se afastando. Também os pontos no gráfico pareciam indicar que a velocidade de uma galáxia dependia fortemente de



**Figura 60** Este gráfico mostra o primeiro conjunto de dados de Hubble (1929) que revelam os desvios Doppler galácticos. O eixo horizontal representa a distância e o eixo vertical, a velocidade de afastamento, com cada ponto indicando a medição para uma única galáxia. Embora os pontos não fiquem em cima da linha, existe uma tendência geral. Isso sugere que a velocidade da galáxia é proporcional a sua distância.

sua distância. Hubble traçou uma linha reta através dos dados, sugerindo que a velocidade de uma galáxia era proporcional a sua distância da Terra. Em outras palavras, se uma galáxia estivesse duas vezes mais distante do que outra, então ela pareceria estar se movendo com aproximadamente duas vezes a sua velocidade. Ou, se a galáxia estivesse três vezes mais distante, ela pareceria estar recuando com o triplo da velocidade.

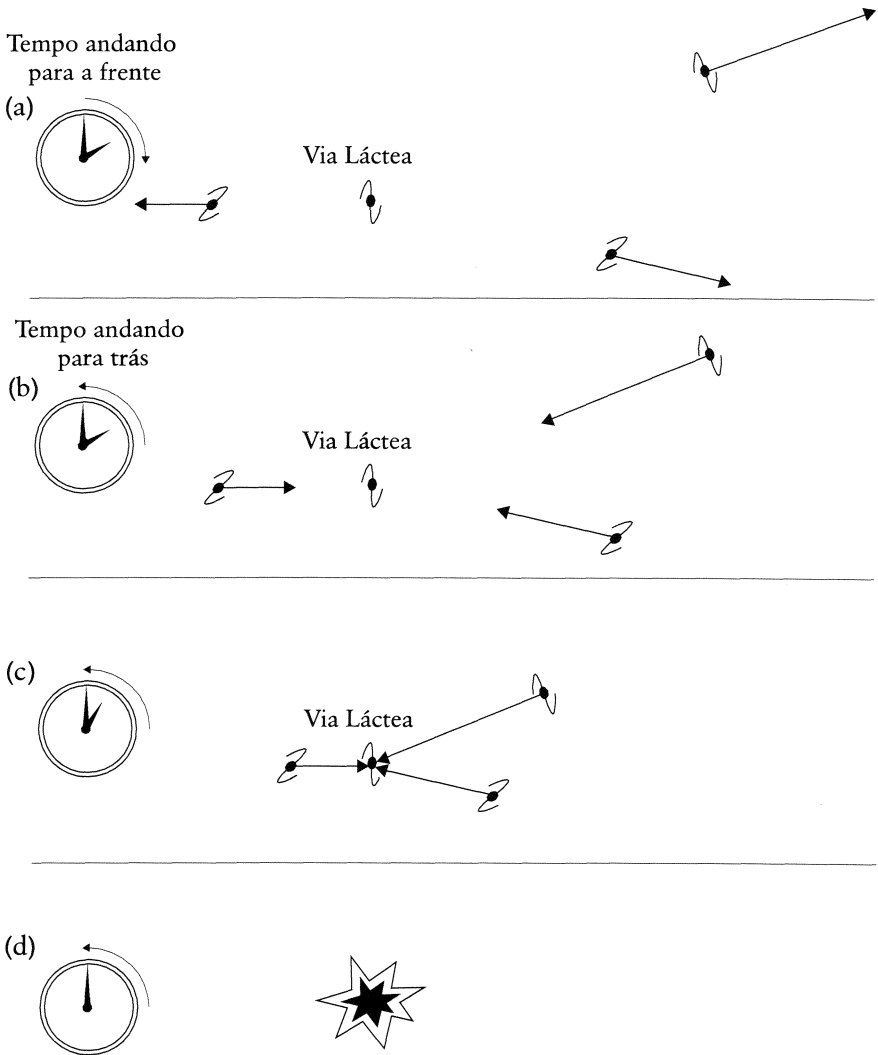
Se Hubble estivesse certo, as repercussões seriam imensas. As galáxias não estariam correndo ao acaso pelo cosmos, mas suas velocidades seriam matematicamente ligadas às suas distâncias, e, quando os cientistas encontram uma relação assim, eles procuram um significado maior. Nesse caso, o significado era nada menos do que a percepção de que, em algum ponto da história, todas as galáxias no universo tinham sido compactadas em uma mesma região pequena. Era o primeiro indício observacional a sugerir o que hoje chamamos de Big Bang. O primeiro indício de que poderia ter existido um momento de criação.

A ligação entre os dados de Hubble e o momento da criação era simples. Tome uma galáxia que esteja se afastando da Via Láctea com alguma velocidade, hoje em dia, e vamos ver o que acontece se fizermos o relógio andar para trás. Ontem aquela galáxia devia estar mais perto da Via Láctea do que está hoje, e na semana passada ela teria estado ainda mais perto, e assim por diante. De fato, ao dividir a distância atual da galáxia por sua velocidade, podemos deduzir quando aquela galáxia esteve em cima da Via Láctea (supondo que sua velocidade tenha permanecido constante). Em seguida, escolhemos uma galáxia que esteja duas vezes mais distante e repetimos o mesmo processo, calculando quando ela teria estado em cima da Via Láctea. O gráfico sugere que uma galáxia com o dobro da distância da primeira viaja duas vezes mais rápido. Assim, se fizermos o relógio andar para trás, a segunda galáxia vai levar exatamente o mesmo tempo que a primeira para voltar à Via Láctea. De fato, se cada galáxia tiver uma velocidade proporcional a sua distância em relação à Via Láctea, então, em algum ponto do passado, todas elas terão estado simultaneamente posicionadas em cima da nossa Via Láctea, como mostra a figura 61.

Assim, tudo no universo emergiu aparentemente de uma única região densa durante um momento de criação. E, se o relógio avançar a partir da zero hora, então o resultado será um universo em evolução e expansão. Isso é exatamente o que Lemaître e Friedmann tinham teorizado. Isso era o Big Bang.

Embora tivesse coletado os dados pessoalmente, Hubble não instigava, promovia ou encorajava as implicações de um Big Bang. Hubble publicou seu gráfico num trabalho de seis páginas modestamente intitulado “Uma relação entre distância e velocidade radial para nebulosas extragalácticas”. O sisudo Hubble não estava interessado em especular sobre a origem do universo ou abordar as grandes questões filosóficas da cosmologia. Ele só queria fazer boas observações e conseguir dados precisos. Fora a mesma coisa quando ele fizera sua descoberta anterior. Ele tinha provado que certas nebulosas existiam muito além da Via Láctea, mas deixara para os outros chegarem à conclusão de que as nebulosas eram galáxias. Hubble parecia patologicamente incapaz de abordar os significados mais profundos de seus dados, assim seus colegas é que acabaram por interpretar seu gráfico de velocidade *versus* distância.

Mas, antes que alguém pudesse especular seriamente sobre as observações de Hubble, era preciso primeiro provar a precisão de suas medições.



**Figura 61** As observações de Hubble implicavam um momento de criação. O diagrama (a) representa o universo hoje, marcado como as duas horas, com apenas três galáxias além da nossa para simplificar. Quanto mais distante a galáxia, mais rapidamente está se afastando, o que é indicado pelo comprimento das setas. Contudo, se fizermos o relógio andar para trás, diagrama (b), então as galáxias parecem se aproximar. A uma hora, no diagrama (c) as galáxias estão mais perto de nós. À meia-noite, no diagrama (d) elas estariam todas em cima de nós. Isso seria o começo do Big Bang.

Esse era um grande obstáculo, porque muitos de seus colegas astrônomos não ficaram convencidos com o gráfico de Hubble. Afinal, muitos dos pontos estavam muito longe da linha superimposta. Talvez esses pontos não ficassem realmente na linha reta, mas ao longo de uma curva. Ou talvez não existisse linha ou curva alguma e os pontos estivessem realmente dispostos ao acaso. A prova tinha que ser concreta, porque as implicações tinham enorme potencial. Hubble precisava de melhores e mais medições.

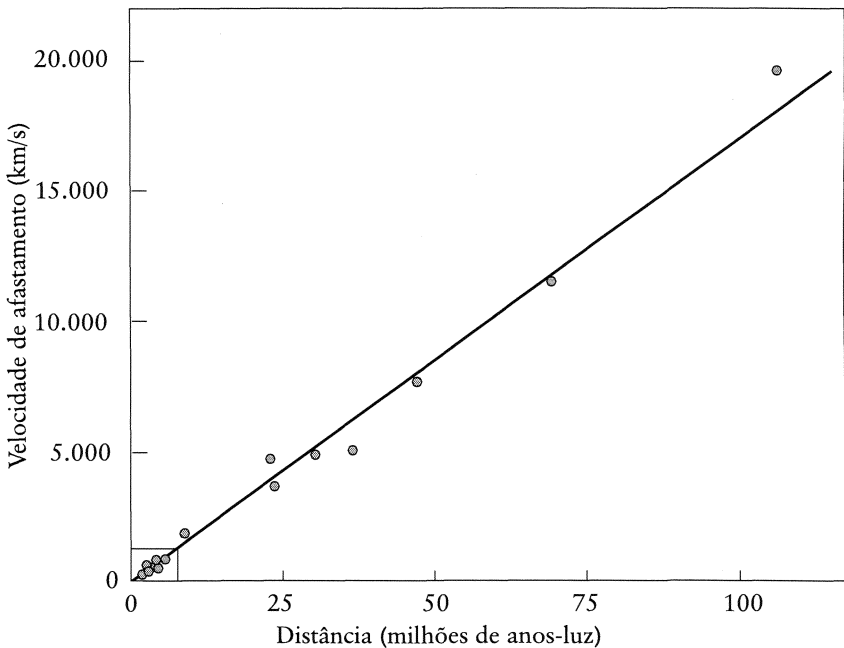
Durante dois anos, Hubble e Humason continuaram a passar noites exaustivas ao telescópio, levando a tecnologia aos seus limites. Seus esforços foram recompensados e eles conseguiram medir galáxias que estavam vinte vezes mais distantes do que qualquer uma relatada no trabalho de 1929. Em 1931, Hubble publicou outro artigo contendo novo gráfico, mostrado na figura 62. Dessa vez, os pontos ficaram obedientemente ao longo da linha de Hubble. Não havia mais como escapar das implicações desses dados. O universo realmente estava se expandindo de um modo sistemático. O relacionamento proporcional entre a velocidade de uma galáxia e sua distância ficou conhecido como *lei de Hubble*. Não é uma lei exata, como a lei da gravidade, que fornece um valor preciso para a força gravitacional de atração entre dois objetos. É mais uma regra largamente descritiva que em geral é verdadeira mas que também tolera exceções.

Por exemplo, nos dias iniciais, Vesto Slipher tinha identificado algumas galáxias com desvios para o azul, que contradizem completamente a lei de Hubble. Essas galáxias ficam muito perto da Via Láctea e, se a velocidade de uma galáxia é proporcional a sua distância, então elas deveriam apresentar uma pequena velocidade de recessão. Contudo, se as velocidades esperadas eram bem pequenas, então poderiam ser revertidas pela força gravitacional de nossa própria Via Láctea ou de outras galáxias em nossa vizinhança. Em resumo, as galáxias levemente desviadas para o azul podiam ser ignoradas como anomalias locais que não se encaixam na lei de Hubble. Assim, de modo geral, é verdadeiro dizer que as galáxias no universo estão se afastando de nós com uma velocidade que é proporcional a sua distância. A lei de Hubble pode ser resumida em uma equação simples:

$$v = H_0 \times d$$



A equação afirma que a velocidade ( $v$ ) de qualquer galáxia é geralmente igual a sua distância ( $d$ ) da Terra multiplicada por um número fixado ( $H_0$ ) conhecido como constante de Hubble. O valor da constante de Hubble depende das unidades que forem usadas para distância e velocidade. A velocidade geralmente é medida na unidade familiar de quilômetros por segundo, mas, por razões técnicas, os astrônomos preferem medir distâncias em megaparsecs (Mpc), de modo que 1 Mpc é igual a 3.260.000 anos-luz, ou 30.900.000.000.000.000 quilômetros. Usando a unidade de megaparsec, Hubble calculou que sua constante tinha um valor de 558km/s/Mpc.



**Figura 62** Como em seu gráfico de 1929 (figura 60), cada ponto no gráfico de Hubble de 1931 representa as medições para uma galáxia. As medições foram muito aperfeiçoadas em relação ao trabalho de 1929. Em especial, Hubble conseguiu medir galáxias a distâncias muito maiores, tanto que todos os pontos do gráfico de 1929 estão contidos na pequena caixa no fundo do canto esquerdo. Dessa vez, era muito mais óbvio que os pontos ficam em uma linha reta.

O valor da constante de Hubble tem duas implicações. Primeiro, se uma galáxia estiver a 1 Mpc da Terra, então deve estar viajando a aproximadamente 558 km/s, ou, se a galáxia estiver a dez megaparsecs da Terra, deverá estar viajando a aproximadamente 5.580 km/s, e assim por diante. De fato, se a lei de Hubble é correta, então poderemos deduzir a velocidade de qualquer galáxia apenas medindo a sua distância, ou, de modo inverso, poderemos deduzir sua distância a partir de sua velocidade.

A segunda implicação da lei de Hubble é que ela nos dá a idade do universo. Há quanto tempo toda a matéria no Universo emergiu de uma única região densa? Se a constante for 558 km/s/Mpc, então uma galáxia a 1 Mpc está viajando a 558 km/s. Assim, podemos determinar quanto tempo teria levado para que uma galáxia chegasse à distância de 1 Mpc, presumindo que esteve viajando à velocidade constante de 558 km/s. O cálculo fica mais fácil se convertermos a distância para quilômetros, o que podemos fazer porque sabemos que 1 Mpc = 30.900.000.000.000.000 quilômetros.

$$\text{Tempo} = \frac{\text{distância}}{\text{velocidade}}$$

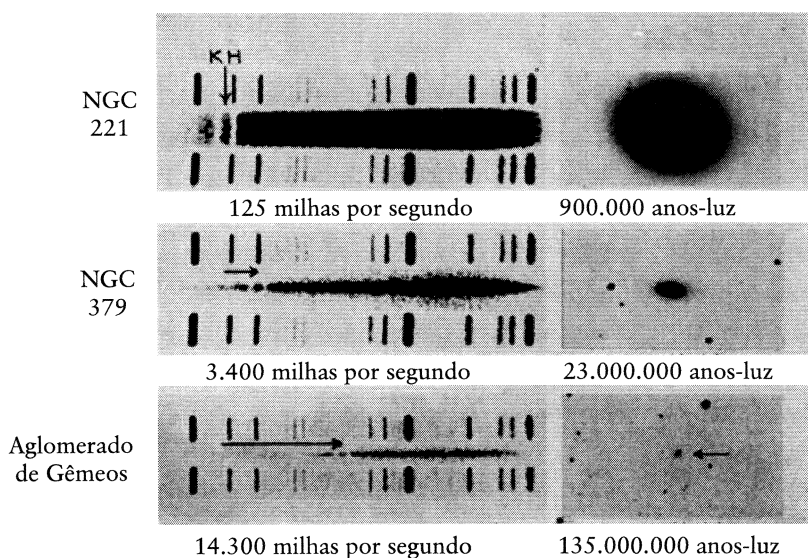
$$\text{Tempo} = \frac{30.900.000.000.000.000.000 \text{ km}}{558 \text{ km/s}}$$

$$\text{Tempo} = 55.400.000.000.000.000 \text{ s}$$

$$\text{Tempo} = 1.800.000.000 \text{ anos}$$

Assim, de acordo com as observações de Hubble e Humason, toda a matéria no universo estava concentrada em uma região relativamente pequena há cerca de 1,8 bilhão de anos e tem se expandido desde então. Essa imagem estava em total contradição com a visão aceita de um universo eterno e imutável. Reforçava a noção proposta por Lemaître e Friedmann de que o universo começara com o Big Bang.

Os astrônomos já tinham sido forçados a tolerar um nível mínimo de evolução no universo, porque testemunharam mudanças com seus próprios



**Figura 63** Diferentes dos espectros de absorção idealizados da figura 54, estes espectros mostram algumas das medições reais feitas por Hubble e Humason. Embora difíceis de interpretar, cada fileira mostra os comprimentos de onda absorvidos por uma galáxia, acompanhados da imagem da galáxia à direita.

A primeira galáxia, NGC 221, está a 0,9 milhão de anos-luz de distância. As medições espectroscópicas de Humason fornecem a velocidade da galáxia. A faixa central, horizontal, mostra a luz da galáxia, e a linha vertical, fechada dentro de uma caixa, representa o comprimento de onda de luz que foi absorvida pelo cálcio na galáxia. Esta barra vertical na verdade está mais para a direita do que deveria estar, representando o desvio para o vermelho (ver figura 59), implicando uma velocidade de afastamento de 125 milhas/s (200 km/s). A extensão do desvio é medida em relação à escala de calibração que se estende acima e abaixo dos dados para a NGC 221.

O segundo conjunto de medições se relaciona com a galáxia NGC 379, que fica a 23 milhões de anos-luz de distância, motivo pelo qual ela aparece menor na fotografia do que a NGC 221. O ponto-chave é que a linha de absorção do cálcio (na caixa) desviou-se mais ainda para a direita, o que significa um desvio para o vermelho ainda maior — de fato sua velocidade de afastamento é de 1.400 milhas/s (2.250 km/s). A galáxia NGC 379 é 26 vezes mais distante que a NGC 221 e se desloca 27 vezes mais rápido. Daí que o aumento de velocidade é aproximadamente proporcional ao aumento da distância.

O terceiro conjunto de medições se refere a uma galáxia no aglomerado de Gêmeos, a uma distância de 135 milhões de anos-luz. A linha do cálcio (na caixa) desviou-se ainda mais para a direita, com um desvio para o vermelho ainda maior, implicando uma velocidade de 14.300 milhas/s (23.000 km/s). Isto é, aproximadamente, cem vezes mais distante do que a NGC 221 e se deslocando aproximadamente cem vezes mais rápido.

olhos, tais como o aparecimento de novas e supernovas. Mas os astrônomos tinham presumido que a morte de uma estrela era compensada pelo surgimento de uma estrela recém-nascida em alguma outra parte, mantendo a estabilidade geral e o equilíbrio do universo. Em outras palavras, uma nova ocasional não mudaria a característica geral do universo. Contudo, os últimos dados implicavam uma evolução contínua em uma escala cósmica. As observações de Hubble e sua lei da expansão significavam que todo o universo era dinâmico e evoluía, com as distâncias aumentando e a densidade geral do universo diminuindo com o tempo.

Naturalmente, o conservadorismo inato fez com que a maioria dos cosmólogos rejeitasse a idéia de um universo em expansão e um momento de criação, tal como outros tinham lutado contra a idéia de que as nebulosas eram galáxias distantes, ou que a luz viajasse com uma velocidade finita, ou que a Terra girasse em torno do Sol.

No que dizia respeito ao ex-condutor de mulas, essas discussões bombásticas não perturbavam. O trabalho de Humason estava completo quando ele medira os desvios para o vermelho, e sua interpretação não o preocupava: “Eu sempre me senti feliz de que a minha parte no trabalho fosse, como se diz, fundamental, não pode ser mudada — não importa a conclusão sobre o seu significado. Aquelas linhas estarão sempre lá onde as medi, e as velocidades, se quiser chamá-las desse nome, ou os desvios para o vermelho, ou qualquer que seja o nome, serão sempre as mesmas”.

Vale lembrar de novo que Hubble também se manteve afastado de qualquer especulação. Ele pode ter fornecido as medições, mas não tomou parte no debate cosmológico. O trabalho de Hubble e Humason continha a seguinte declaração: “Os autores se restringem a descrever as ‘velocidades aparentes-deslocamentos’ sem se aventurarem a uma interpretação ou especulação sobre seu significado cosmológico.”

Assim, em lugar de se envolver no novo Grande Debate, Hubble se deliciava com sua fama crescente. Em 1937 ele foi convidado de honra de Frank Capra na festa do Oscar. Capra, então presidente da academia de artes cinematográficas, abriu a noite do Oscar apresentando o maior astrônomo do mundo. E as celebridades de Holywood se viram atuando como coadjuvantes para Hubble, que se levantou para receber os aplausos, iluminado por três focos de luz. Ele

tinha passado sua vida inteira olhando admirado para as estrelas e agora as estrelas olhavam para ele com igual admiração.

Todos no auditório percebiam a magnitude das realizações de Hubble. Ali estava um homem cujas medições de distância tinham ampliado nossa visão de universo de uma única Via Láctea finita para um espaço infinito salpicado de galáxias. Ali estava um homem que tinha mostrado que o cosmos estava se expandindo, e, a despeito de o próprio Hubble reconhecer ou não, isto parecia implicar que o universo tinha uma história limitada e que uma vez fora um embrião de matéria compactada pronto para explodir e evoluir. Sem querer, Edwin Hubble tinha descoberto a primeira prova real a favor da criação. Afinal, o modelo do Big Bang era mais do que apenas teoria.

## CAPÍTULO 3 – O GRANDE DEBATE

### RESUMO

1 ASTRÔNOMOS CONSTRUÍRAM TELESCÓPIOS MAIORES E MELHORES, EXPLORARAM O CÉU E MEDIRAM AS DISTÂNCIAS ATÉ AS ESTRELAS.



2 NA DÉCADA DE 1700, HERSCHEL MOSTROU QUE O SOL ESTÁ ENCRAVADO EM UM GRUPO DE ESTRELAS: A VIA LÁCTEA. ESTA ERA A NOSSA GALÁXIA. SERIA A ÚNICA GALÁXIA?



3 EM 1781, MESSIER CATALOGOU AS NEBULOSAS (MANCHAS DÉBEIS) QUE NÃO PARECEM SER ESTRELAS (PONTOS DEFINIDOS DE LUZ). O GRANDE DEBATE É SOBRE A NATUREZA DAS NEBULOSAS:

⇨ SERIAM OBJETOS DENTRO DE NOSSA VIA LÁCTEA OU

⇨ SERIAM GALÁXIAS SEPARADAS?



NOSSA VIA LÁCTEA É A ÚNICA GALÁXIA?  
OU  
O UNIVERSO ESTÁ SALPICADO DE GALÁXIAS?

4 EM 1912, HENRIETTA LEAVITT ESTUDOU AS ESTRELAS VARIÁVEIS CEFÉIDAS E MOSTROU QUE SEU PERÍODO DE VARIAÇÃO PODE SER USADO PARA INDICAR SEU BRILHO REAL E ESTIMAR SUAS DISTÂNCIAS.



OS ASTRÔNOMOS AGORA TINHAM  
UMA RÉGUA PARA MEDIR O UNIVERSO.

5 EM 1923, EDWIN HUBBLE IDENTIFICOU UMA ESTRELA VARIÁVEL CEFÉIDA EM UMA NEBULOSA E PROVOU QUE ELA SE ENCONTRAVA MUITO ALÉM DA VIA LÁCTEA! PORTANTO, AS NEBULOSAS (A MAIORIA) ERAM GALÁXIAS SEPARADAS, CADA UMA COMPOSTA DE BILHÕES DE ESTRELAS, EXATAMENTE COMO A NOSSA VIA LÁCTEA.



O UNIVERSO ESTAVA CHEIO  
DE GALÁXIAS.

6 A ESPECTROSCOPIA: ÁTOMOS DIFERENTES EMITEM/ABSORVEM COMPRIMENTOS DE ONDA ESPECÍFICOS DE LUZ.

COMPRIMENTO DE ONDA



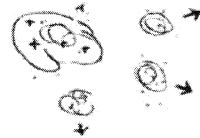
ASSIM, OS ASTRÔNOMOS ESTUDARAM A LUZ DAS ESTRELAS PARA VER DE QUE SÃO FEITAS:



OS ASTRÔNOMOS PERCEBERAM QUE OS COMPRIMENTOS DE ONDA DA LUZ DAS ESTRELAS ESTAVAM LIGEIRAMENTE DESLOCADOS. ISSO PODERIA SER EXPLICADO PELO EFEITO DOPPLER:

- UMA ESTRELA SE APROXIMANDO TINHA SUA LUZ DESVIADA PARA COMPRIMENTOS DE ONDA MAIS CURTOS (DESVIO PARA O AZUL) E
- UMA ESTRELA SE AFASTANDO TINHA SUA LUZ DESLOCADA PARA COMPRIMENTOS DE ONDA MAIS LONGOS (DESVIO PARA O VERMELHO).

A MAIORIA DAS GALÁXIAS PARECIA ESTAR SE AFASTANDO DA VIA LÁCTEA (DESVIO PARA O VERMELHO)!



7 EM 1929, HUBBLE MOSTROU QUE HAVIA UMA RELAÇÃO DIRETA ENTRE A DISTÂNCIA DA GALÁXIA E SUA VELOCIDADE. ISSO É CONHECIDO COMO LEI DE HUBBLE:



- SE AS GALÁXIAS ESTÃO SE AFASTANDO, ENTÃO:
- 1 AMANHÃ ELAS ESTARÃO MAIS DISTANTES DE NÓS.
  - 2 MAS ONTEM ESTAVAM MAIS PERTO.
  - 3 E ANO PASSADO ESTAVAM AINDA MAIS PRÓXIMAS.
  - 4 EM ALGUM PONTO DO PASSADO TODAS AS GALÁXIAS DEVIAM ESTAR BEM EM CIMA DE NÓS.

AS MEDIÇÕES DE HUBBLE PARECIAM IMPLICAR QUE O UNIVERSO HAVIA COMEÇADO NUM ESTADO PEQUENO E CONDENSADO E ENTÃO SE EXPANDIRA PARA FORA. E CONTINUA A SE EXPANDIR ATÉ HOJE.

SERIA ISSO UMA EVIDÊNCIA DO BIG BANG?

## Capítulo 4

---

# DISSIDENTES DO COSMOS

---

*O supersistema de galáxias está se dispersando ao modo de uma nuvem de fumaça. Às vezes eu me pergunto se não existe uma escala maior de existência das coisas na qual ele não é mais do que uma bafo-rada de fumaça.*

ARTHUR EDDINGTON

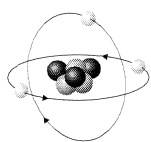
*A natureza nos mostra apenas a cauda do leão. Mas não tenho dúvida de que o leão pertence a ela, ainda que não possa aparecer de uma só vez devido ao seu grande tamanho. Só podemos vê-lo do modo como um piolho em cima dele veria.*

ALBERT EINSTEIN

*Os cosmólogos freqüentemente estão errados, mas nunca estão em dúvida.*

LEV LANDAU





Albert Michelson, tendo banido o éter alguns anos antes, fez um discurso na Universidade de Chicago em 1894. Ele declarou: “As leis fundamentais mais importantes e os fatos das ciências físicas já foram todos descobertos, e estão agora tão firmemente estabelecidos que a possibilidade de serem superados em consequência de novas descobertas é extremamente remota... Nossas futuras descobertas terão que ser procuradas na sexta casa dos decimais”.

A segunda metade do século XIX tinha sido de fato uma época gloriosa para a física, com muitos grandes mistérios resolvidos, mas sugerir que a única tarefa remanescente seria aumentar a precisão das medições se provaria claramente um absurdo. Michelson viveria para ver suas atrevidas declarações desmoronarem. Em algumas décadas, o desenvolvimento da física quântica e da física nuclear sacudiria os próprios fundamentos da ciência. Além disso, os cosmólogos teriam que reavaliar seu entendimento do universo.

A visão de universo do final do século XIX fora de um cosmos eterno e na maior parte imutável. Mas, enquanto as bolsas quebravam, os cientistas da década de 1920 foram forçados a considerar um modelo cósmico rival que descrevia um universo em expansão, nascido há 1 ou 2 bilhões de anos.

Esse tipo de terremoto no pensamento científico pode ser iniciado de dois modos. Um envolve os teóricos que podem chegar a uma conclusão surpreendente ao aplicarem as leis da física em uma nova direção. O outro modo envolve experimentadores e observadores, que podem medir ou ver alguma coisa que os leva a questionar as suposições anteriores. O terremoto na cosmologia que aconteceu na década de 1920 era fora do comum porque o modelo estabelecido de um universo eterno sofreu um ataque simultâneo

em ambos os lados. Georges Lemaître e Alexander Friedmann tinham usado a teoria para desenvolver a idéia de um universo em expansão, como vimos no capítulo 2. Ao mesmo tempo, Edwin Hubble estava, de modo independente, observando desvios para o vermelho em galáxias, que também implicavam um universo em expansão, como descrito no capítulo 3.

Friedmann não estava mais vivo para ouvir sobre as observações de Hubble, tendo morrido sem receber qualquer reconhecimento por suas idéias. Lemaître, contudo, teve mais sorte. Em seu trabalho de 1927, no qual propusera o modelo do Big Bang para o universo, ele previa que as galáxias estariam correndo para longe a velocidades que seriam proporcionais às suas distâncias. Inicialmente seu trabalho foi ignorado, porque não havia evidência para respaldá-lo, mas dois anos depois Hubble publicou suas observações que mostravam que as galáxias estavam de fato se afastando e Lemaître, afinal, foi vingado.

Lemaître escrevera anteriormente para Arthur Eddington, sobre seu modelo do Big Bang, mas não recebera resposta. Quando as descobertas de Hubble viraram manchetes, Lemaître voltou a escrever para Eddington, esperando que dessa vez o eminente astrofísico compreendesse que sua teoria se ligava perfeitamente aos novos dados. George McVittie era aluno de Eddington na ocasião e lembrou a reação de seu superior ao insistente sacerdote: “Eddington, um tanto envergonhado, me mostrou uma carta de Lemaître que o lembrava de sua solução para o problema. Eddington confessou que, embora tivesse visto o artigo de Lemaître em 1927, se esquecera dele por completo até aquele momento. O descuido foi rapidamente remediado por uma carta de Eddington à famosa revista *Nature*, em junho de 1930, na qual ele chamava a atenção para o brilhante trabalho de Lemaître, três anos antes”.

Eddington tinha desprezado a pesquisa de Lemaître no passado, mas agora parecia estar preparado para dar-lhe suas bênçãos e promovê-la. Além da carta para a *Nature*, Eddington também traduziu o artigo de Lemaître e o publicou no *Monthly Notices* da Sociedade Astronômica Real. Chamou-o de “uma solução brilhante” e “uma resposta completa para o problema”, querendo dizer com isso que o modelo de Lemaître explicava perfeitamente as medições de Hubble.

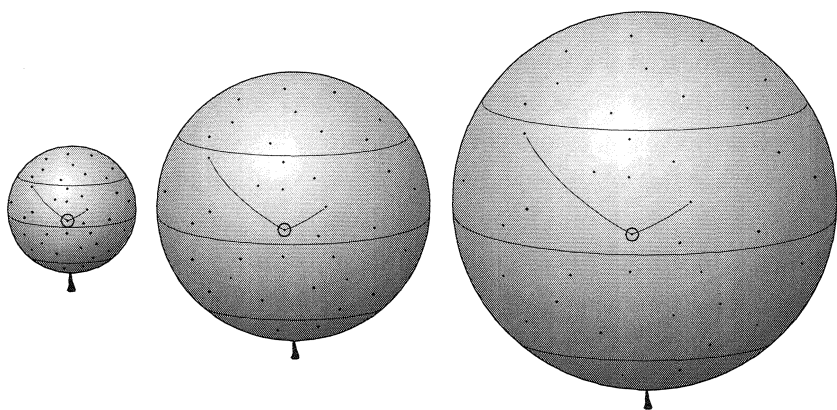
Aos poucos a notícia se espalhou pela comunidade científica e lentamente cresceu a admiração pelo casamento perfeito entre as previsões teóricas de Lemaître e as observações de Hubble. Até aquele ponto, todos os cosmólogos tinham focalizado suas atenções sobre o modelo do universo estático e eterno de Albert Einstein, mas agora uma minoria significativa considerava o modelo de Lemaître muito mais poderoso.

Para relembrar: Lemaître tinha afirmado que a relatividade geral (em sua forma mais pura) implicava que o universo estava se expandindo. Se o universo está se expandindo hoje, então no passado ele deve ter sido mais compacto. Pela lógica, o universo deve ter começado de um estado extremamente compacto, o chamado átomo primitivo, de tamanho pequeno mas finito. Lemaître pensava que o átomo primitivo poderia ter existido por uma eternidade, antes que houvesse alguma “ruptura do equilíbrio”, a partir da qual o átomo decaiu e ejetou seus fragmentos. Ele definia o começo desse processo de decaimento como o início da história do nosso universo. Esse era efetivamente o momento da criação — nas palavras de Lemaître, “um dia sem ontem”.

A visão de Friedmann do momento da criação fora um pouco diferente da de Lemaître. Em lugar de imaginar o universo emergindo de um átomo primordial, o modelo do Big Bang de Friedmann argumentava que tudo tinha emergido a partir de um ponto. Em outras palavras, o universo inteiro fora espremido no nada. Em ambos os casos, átomo primitivo ou ponto único, as teorias sobre o momento real da criação eram especulativas ao extremo e assim permaneceriam por algum tempo. Com os outros aspectos do Big Bang, entretanto, havia um grau maior de confiança e um acordo mais amplo entre seus proponentes.

Hubble tinha observado, por exemplo, que as galáxias estavam se afastando da Terra, exatamente como previsto pelo modelo do Big Bang, mas os teóricos do Big Bang eram unânimes em acreditar que as galáxias não se moviam através do espaço, mas junto com o espaço. Eddington explicou esse aspecto sutil ao comparar o espaço com a superfície de um balão, simplificando as três dimensões espaciais do universo para as duas dimensões de uma folha de borracha fechada, como mostrado na figura 64. A superfície do balão está coberta de pontos, que representam as galáxias. Se o balão for

inflado para duas vezes o seu diâmetro original, então a distância entre os pontos vai dobrar de tamanho, de modo que os pontos estarão efetivamente se afastando uns dos outros. O detalhe crucial é que os pontos não estão se movendo através da superfície do balão, mas a superfície é que se expande, aumentando portanto a distância entre os pontos. De modo semelhante, as galáxias não estão se movendo através do espaço, e sim é o espaço entre as galáxias que está se expandindo.



**Figura 64** O universo é representado aqui como a superfície de um balão. Cada ponto representa uma galáxia, e os pontos dentro de círculos representam nossa galáxia, a Via Láctea. À medida que o balão infla (ou seja, quando o universo expande), os outros pontos parecem afastar-se de nós, exatamente como Hubble observou que todas as galáxias parecem estar se afastando de nós. Quanto mais distante uma galáxia, para mais longe ela recua em um dado intervalo de tempo, assim mais rápido se move — o que é a lei de Hubble. Esse efeito é destacado pela distância marcada entre duas galáxias, uma próxima e uma distante.

Embora o desvio para o vermelho da luz das galáxias tenha sido explicado no capítulo 3 simplesmente em termos da recessão das galáxias, agora se torna claro que a causa real do desvio para o vermelho é o esticamento do espaço. À medida que as ondas de luz deixam uma galáxia e viajam para a Terra, elas são estendidas porque o espaço no qual elas estão viajando está sendo estendido, motivo pelo qual os comprimentos de onda se tornam mais longos e a luz parece avermelhar. Embora esse desvio para o vermelho

cosmológico tenha uma causa diferente do alongamento normal das ondas Doppler, a descrição do efeito Doppler no capítulo 3 permanece como um modo eficiente de se pensar nos desvios para o vermelho das galáxias.

Se todo o espaço está se expandindo e as galáxias estão colocadas no espaço, então você pode pensar que as galáxias também estarão se expandindo. Na teoria isso poderia acontecer, mas na prática as enormes forças gravitacionais que existem dentro das galáxias fazem com que tal efeito seja insignificante. Portanto a expansão é relevante num nível cósmico intergalático, mas não num nível local intragalático. Num *flashback* no início do filme *Noivo neurótico, noiva nervosa*, de Woody Allen, a senhora Singer leva seu filho Alvy ao terapeuta porque ele está deprimido. O menino explica ao médico que leu que o universo está se expandindo, portanto ele acha que tudo a sua volta irá se desfazer. Sua mãe o interrompe: “O que o universo tem a ver com isso? Você está no Brooklin! E o Brooklin não está se expandindo!” A sra. Singer estava absolutamente correta.

Agora que a analogia do balão foi introduzida, este é um bom momento para esclarecer um mal-entendido comum. Se todas as galáxias estão se afastando da Terra, será que isso não implica que a Terra é o centro do universo? É como se todo o universo não tivesse emergido do lugar onde vivemos agora. Será que de fato ocupamos um lugar especial no cosmos? De fato, não importa onde esteja situado um observador, ele terá uma ilusão de centralidade. Retornando à figura 64, podemos imaginar que nossa Via Láctea é um dos pontos, e que, à medida que o balão infla, todos os outros pontos parecem se afastar de nós. Contudo, da perspectiva de um ponto diferente, todos os outros pontos vão parecer estar se afastando dele. Em outras palavras, o outro ponto pensa que está no centro do universo. Não existe centro do universo — ou talvez cada galáxia possa reivindicar ser o centro do universo.

Albert Einstein tinha perdido o interesse pela cosmologia em meados da década de 1920, mas retomou o tema depois que as observações de Hubble reforçaram a idéia do Big Bang. Em 1931, enquanto participava de um ano sabático no Instituto de Tecnologia da Califórnia (Caltech), Einstein e sua segunda esposa, Elsa, fizeram uma visita ao Observatório de Monte Wilson como convidados de honra de Hubble. Foram levados em uma excursão

guiada para ver o gigantesco telescópio Hooker, de cem polegadas, e os astrônomos explicaram como aquela máquina gigantesca era essencial para a exploração do universo. Para sua surpresa, Elsa não ficou particularmente impressionada: “Bem, meu marido faz isso no verso de um envelope velho”.

Contudo, os esforços de Einstein eram restritos à teoria, e as teorias podem estar erradas. É por isso que vale a pena investir em experiências caras e grandes telescópios, porque só eles tornam possível para nós diferenciar entre uma teoria boa e uma teoria ruim. Os primeiros rabiscos de Einstein num envelope tinham defendido um universo estático, que as observações de Hubble agora pareciam contradizer, ilustrando assim o poder da observação para julgar a teoria.

Enquanto estava em Monte Wilson, Einstein passou algum tempo com Milton Humason, o assistente de Hubble, que lhe mostrou suas várias placas fotográficas e apontou nelas as galáxias que tinha sondado. Ele também mostrou a Einstein o espectro das galáxias, que revelara um desvio para o vermelho sistemático. Einstein já tinha lido os trabalhos publicados de Hubble e Humason, mas agora podia ver os dados por si mesmo. A conclusão parecia inevitável. As observações indicavam que as galáxias estavam recuando, e que o universo estava se expandindo.

Em 3 de fevereiro de 1931, Einstein fez uma declaração para os jornalistas reunidos na biblioteca do Observatório de Monte Wilson. Ele renunciava publicamente à sua própria cosmologia estática e endossava o modelo do universo em expansão do Big Bang. Em resumo, ele achara convincentes as observações de Hubble e admitia que Lemaître e Friedmann tinham estado certos o tempo todo. Com o gênio mais famoso do mundo mudando de opinião e agora apoiando o Big Bang, o universo em expansão tornara-se oficial, pelo menos no que dizia respeito aos jornais. O jornal da cidade natal de Hubble, o *Springfield Daily News*, estampou uma manchete que dizia: JOVEM QUE DEIXOU AS MONTANHAS OZARK PARA ESTUDAR AS ESTRELAS FEZ EINSTEIN MUDAR DE OPINIÃO.

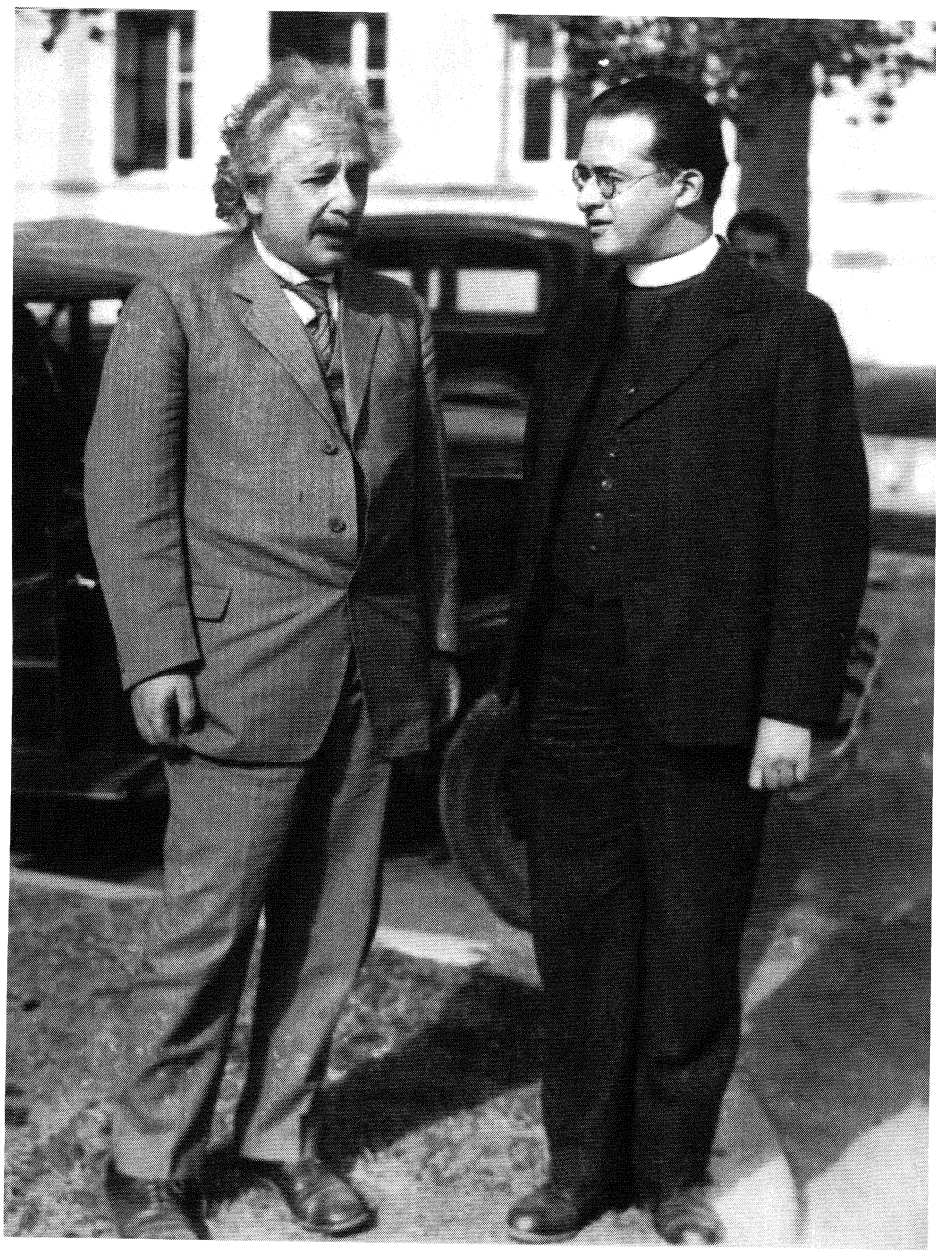
Não apenas Einstein abandonou seu modelo de universo estático, como ele também reconsiderou sua equação da relatividade geral. Lembre-se de que a equação original de Einstein tinha explicado com precisão a conhecida força da atração gravitacional, mas esta força de atração no fim faria todo

o universo colapsar. E, como se supunha que o universo fosse eterno e estático, ele acrescentou a constante cosmológica — na verdade um remendo — à sua equação, para simular uma força repulsiva que atuaria através de grandes distâncias, evitando assim o colapso. Agora que o universo não mais parecia estático, Einstein abandonou a constante cosmológica e retomou sua equação original para a relatividade geral.

Einstein sempre se sentira insatisfeito com a constante cosmológica, que inserira em sua equação apenas para ficar de acordo com a visão estabelecida de um universo eterno e estático. As convenções e a conformidade o tinham desviado de seu rumo. Durante o início de sua vida como físico, quando estava no auge de sua capacidade intelectual, ele tinha sempre seguido seu instinto e ignorado a autoridade. E, na única ocasião em que se curvara à pressão dos companheiros, ele se descobriu errado. Mais tarde, ele chamaria a constante cosmológica de o maior erro de sua vida. Ou como ele escreveu em uma carta para Lemaître: “Desde que introduzi este termo, eu sempre tive a consciência pesada... Não consigo acreditar que uma coisa tão feia seria real na natureza”.

Embora Einstein fosse rápido em abandonar seu incorreto fator cósmico, os cosmólogos que ainda acreditavam em um universo eterno e estático estavam convencidos de que a constante cosmológica era uma parte essencial e válida da relatividade geral. Até mesmo alguns cosmólogos do Big Bang tinham passado a gostar dela e relutavam em abandoná-la. Mantendo a constante cosmológica e variando seu valor, eles podiam calibrar seus modelos teóricos do Big Bang e modificar a expansão do universo. A constante cosmológica representava um efeito antigravidade, e assim fazia o universo se expandir mais rapidamente.

O valor e a validade da constante cosmológica geraram um certo conflito entre os que apoiavam a teoria do Big Bang, mas Lemaître e Einstein mostraram que estavam unidos quando se encontraram num seminário, no campo-base de Monte Wilson em Pasadena, em janeiro de 1933, quase dois anos depois da primeira visita de Einstein ao observatório. Lemaître apresentou sua visão do modelo do Big Bang para a eminente platéia de astrônomos e cosmólogos presente ao seminário, incluindo Edwin Hubble. Embora fosse uma reunião acadêmica, Lemaître usou de alguma imagem poética entre os



**Figura 65** Albert Einstein e Georges Lemaître em Pasadena, em 1933, para um seminário sobre as observações de Hubble e do modelo Big Bang do Universo.



físicos. Em particular, retornou a sua analogia favorita com os fogos de artifício: “No começo de tudo tivemos fogos de uma beleza inimaginável. Então houve uma explosão e o céu se encheu de fumaça. Chegamos tarde demais para fazer mais do que visualizar o esplendor do aniversário da criação!”.

Ainda que provavelmente esperasse mais detalhes matemáticos e menos enfeites, Einstein prestou um tributo aos esforços pioneiros de Lemaître: “Esta é a mais bela e satisfatória explicação para a criação que eu já ouvi”. Um grande elogio, especialmente da parte do homem que, apenas seis anos antes, tinha chamado a física de Lemaître de “abominável”.

O apoio de Einstein marcou o início da vida de Lemaître como uma celebridade dentro da ciência e além dela. Afinal, ali estava o homem que mostrara que Einstein estava errado e que tivera um discernimento tão grande que previra a expansão do universo antes que os telescópios fossem poderosos o bastante para detectar a fuga das galáxias. Lemaître foi convidado para fazer palestras no mundo inteiro e recebeu muitos prêmios internacionais — de fato ele poderia considerar-se portador da rara honra de ser um belga famoso. Parte do seu charme, popularidade e *status* de ícone vinha de seu duplo papel como sacerdote e físico. Duncan Aikman, do *New York Times*, que cobriu o encontro de Pasadena em 1933, escreveu: “Sua visão é interessante e importante, não porque ele é um padre católico nem porque ele é um dos principais físicos matemáticos de nossa época, mas porque é ambos”.

Como Galileu, Lemaître acreditava que Deus tinha abençoado os seres humanos com uma mente inquiridora e que Ele olharia com satisfação para a cosmologia científica. Ao mesmo tempo, Lemaître mantinha sua física e sua religião separadas, declarando que suas crenças religiosas certamente não motivavam sua cosmologia. “Centenas de cientistas profissionais e amadores de fato acreditam que a Bíblia pretende ensinar ciência”, disse ele. “Isso é mais ou menos como acreditar que exista um dogma religioso no teorema do binômio.”

Apesar disso, alguns cientistas continuaram a acreditar que a teologia tinha influenciado negativamente a cosmologia do padre. Essa facção anti-religiosa queixava-se de que sua teoria da criação pelo átomo primordial nada mais era do que uma justificativa pseudocientífica para um mestre

criador, uma versão moderna do Livro do Gênese. De forma a minar a posição de Lemaître, esses críticos chamaram a atenção para um sério defeito na hipótese do Big Bang, a sua estimativa para a idade do universo. De acordo com as observações de Hubble, suas medidas de distância e velocidade implicavam um universo com menos de 2 bilhões de anos de idade. E, como a pesquisa geológica contemporânea tinha estimado a idade de algumas rochas terrestres como de 3,4 bilhões de anos, existia uma embaraçosa diferença de, pelo menos, 1,4 bilhão de anos. O modelo do Big Bang parecia implicar que a Terra era mais velha do que o universo.

Mas, no que concerne aos críticos do Big Bang, o problema fundamental com o modelo de Lemaître era de que o universo não tinha uma idade finita. Eles argumentavam que o universo era eterno e imutável e que o modelo do Big Bang era uma tolice. Essa ainda era a visão da comunidade científica.

E, no entanto, eles não podiam simplesmente ficar sentados atacando o Big Bang — eles também tinham que explicar as últimas observações no contexto de seu modelo de universo eterno. As observações de Hubble indicavam com clareza que as galáxias estavam com sua luz desviada para o vermelho e se afastando, assim os críticos do Big Bang tinham que demonstrar que isso não implicava, necessariamente, um momento de criação no passado.

O astrofísico Arthur Milne, de Oxford, foi um dos primeiros a apresentar uma explicação alternativa para a lei de Hubble que fosse compatível com um universo eterno. Em sua teoria, chamada de *relatividade cinematográfica*, as galáxias apresentavam uma grande variação de velocidade, algumas se movendo lentamente através do espaço, outras muito rápido. Milne dizia que era natural que as galáxias mais distantes fossem as mais rápidas, como observado por Hubble, porque fora graças a essa velocidade que elas tinham chegado tão longe. De acordo com Milne, o fato de as galáxias se afastarem com velocidade proporcional às suas distâncias não era consequência da explosão de algum átomo primordial, mas um resultado natural quando entidades, que se movem ao acaso, continuam avançando sem obstáculos. Seu argumento estava longe de ser à prova de falhas, mas ele encorajou outros astrônomos a pensarem criativamente sobre os desvios para vermelho de Hubble na concepção de um universo eterno.

Um dos críticos mais ferozes ao modelo do Big Bang foi Fritz Zwicky. Nascido na Bulgária, ele tornou-se mal-afamado entre os cosmólogos por suas excentricidades e sua teimosia. Ele fora convidado a trabalhar no Caltech e em Monte Wilson em 1925 pelo prêmio Nobel Robert Millikan. Zwicky recompensou o favor dizendo, em uma ocasião, que Millikan nunca tivera uma boa idéia em toda a sua vida. Todos os seus colegas eram alvo de suas ofensas, e muitos ganhavam o seu insulto favorito: “mau-caráter esférico”. Como uma esfera parece a mesma vista de qualquer direção, um mau-caráter esférico seria o mesmo de qualquer ângulo.

Zwicky examinou os dados de Hubble e questionou se as galáxias estavam realmente se movendo. Sua explicação alternativa para os desvios para o vermelho galáctico era baseada na noção aceita de que qualquer coisa emitida de um planeta ou de uma estrela perde energia. Por exemplo, se você atirar uma pedra bem alto no ar, ela deixa a superfície da Terra com energia e velocidade, mas a força gravitacional da Terra densa reduz a energia cinética da pedra, reduzindo sua velocidade até que ela pára e cai de volta em direção à Terra. De modo semelhante, a luz que escapa de uma galáxia terá sua energia reduzida pela força gravitacional da galáxia. A luz não pode perder velocidade, porque sua velocidade é constante, assim, a perda de energia se manifesta como um aumento nos comprimentos de onda, fazendo-a parecer mais avermelhada. Em outras palavras, aqui estava outra explicação possível para os desvios para o vermelho de Hubble, que não envolvia a expansão universal.

O argumento de Zwicky de que os desvios para o vermelho eram causados pela gravidade galáctica drenando a luz de sua energia foram chamados de *teoria da luz cansada*. O principal problema com a teoria do cansaço da luz era não ter o respaldo das leis conhecidas da física. Os cálculos mostravam que a gravidade teria algum efeito sobre a luz e causaria um desvio para o vermelho, mas apenas num nível muito pequeno e certamente não o suficiente para corresponder às observações de Hubble. Zwicky contra-atacou criticando as observações e afirmando que elas poderiam ser exageradas. Fiel à sua fama, ele até mesmo questionou a integridade de Hubble e Humason, sugerindo que sua equipe poderia ter abusado do privilégio de controlar o melhor telescópio do mundo. Zwicky afirmou: “Os bajuladores

entre seus jovens assistentes estavam, assim, a postos para adulterar seus dados observacionais, escondendo seus defeitos”.

Embora esse tipo de comportamento franco certamente tenha indisposto muitos cientistas com Zwicky, houve alguns que se juntaram à sua brigada da luz cansada. E não foram nem mesmo dissuadidos por sua física falha, porque Zwicky tinha um registro impecável como pesquisador. De fato, ao longo de sua carreira, ele faria trabalhos de grande importância sobre supernovas e estrelas de nêutrons. Chegou mesmo a prever a existência da *matéria escura*, uma misteriosa entidade invisível que de início foi negada e agora é largamente aceita como sendo real. A teoria da luz cansada parecia risível, mas talvez se revelasse igualmente certa.

Os defensores do Big Bang, contudo, rejeitaram completamente a teoria da luz cansada. Na melhor das hipóteses, ela explicaria apenas uma fração minúscula dos desvios para o vermelho observados. Em apoio à facção do Big Bang, Arthur Eddington resumiu o que ele achava errado com a teoria de Zwicky: “A luz é uma coisa estranha — mais estranha do que imaginávamos há vinte anos —, mas eu ficaria surpreso se fosse tão estranha assim”. Em outras palavras, a teoria da relatividade de Einstein tinha transformado nosso entendimento da luz, mas ainda não havia margem para a luz cansada como explicação para os desvios para o vermelho de Hubble.

Embora Eddington atacasse a teoria da luz cansada de Zwicky e promovesse o trabalho original de Lemaître, ele ainda mantinha uma mente relativamente aberta na questão da origem do universo. Eddington achava que as idéias de Lemaître eram importantes e deviam ser conhecidas por um público maior, motivo pelo qual ele escreveu a respeito nas mais importantes revistas científicas e ajudou a traduzir o trabalho do belga. Mas ele não estava inteiramente convencido de que todo um universo poderia nascer subitamente do decaimento de um átomo primitivo: “Filosoficamente, a noção de um começo para a presente ordem da natureza me parece repugnante. Eu gostaria de encontrar uma saída genuína... Como cientista, eu não acredito que o universo tenha começado com uma explosão... isso me deixa desapontado”. Eddington achava que o modelo de criação de Lemaître era “muito abrupto e deselegante”.

No final, Eddington desenvolveu sua própria variação do modelo de Lemaître. Ele ficou satisfeito em começar com um universo pequeno e com-

pacto, não muito diferente do átomo primordial de Lemaître. Então, em lugar de uma súbita expansão, era a favor de uma expansão muito gradual, que por fim acelerou até chegar à expansão que vemos hoje em dia. A expansão de Lemaître era como uma bomba detonando de modo violento e súbito. A expansão de Eddington era mais como a formação de uma avalanche. Uma montanha coberta de neve pode ficar estável por muitos meses. Então, um fraco sopro de vento faz um floco de neve deslocar um cristal de gelo, que cai em cima de outro cristal, que rola e forma uma migalha e depois uma minibola de neve, que ganha mais peso, derrubando mais gelo e neve ao longo da encosta até que lençóis de neve começam a desmoronar e uma avalanche completa está a caminho.

Eddington explicou por que preferiu esse crescimento mais gradual ao Big Bang: “Existe aqui pelo menos a satisfação intelectual de achar que o mundo está evoluindo de um modo infinitamente lento a partir de uma distribuição uniforme primitiva em equilíbrio instável.”

Eddington também afirmava que sua versão dos acontecimentos poderia explicar como alguma coisa emergira do nada, graças a uma lógica um tanto duvidosa. Sua cadeia de pensamento começava com a premissa de que o universo sempre existira, e que, se recuássemos o suficiente no tempo, descobriríamos um universo perfeitamente compacto e homogêneo, que durara uma eternidade. Em seguida, Eddington argumentava que tal universo equivalia ao nada: “Para minha mente, *uniformidade não diferenciada e nada* não poderiam ser diferenciados filosoficamente”. A menor flutuação imaginável no universo — o equivalente a um floco de neve começando uma avalanche — teria então fraturado a simetria do cosmos e iniciado a cadeia de eventos que levaram à expansão completa que vemos hoje em dia.

Em 1933, Eddington escreveu um livro para principiantes — *The Expanding Universe* — que pretendia explicar as últimas idéias da cosmologia em apenas 126 páginas. Ele cobria a relatividade geral, as observações de Hubble, o átomo primordial de Lemaître e suas próprias idéias, mantendo um toque extravagante ao longo do texto. Por exemplo, como todas as galáxias estavam se afastando, Eddington estimulava os astrônomos a construírem rapidamente telescópios melhores, antes que as galáxias estivessem longe demais para serem vistas. Em outro aparte bem-humorado, Eddington virou

do avesso as observações de Hubble: “Toda mudança é relativa. O universo está se expandindo em relação ao nosso padrão material comum; e nossos padrões materiais estão encolhendo em relação ao tamanho do universo. A teoria do ‘universo em expansão’ poderia também ser chamada de teoria do ‘átomo encolhendo’... O universo em expansão não será outro exemplo de distorção devido a nossa perspectiva egocêntrica? Certamente o universo deveria ser o padrão e nós deveríamos medir nossas próprias vicissitudes a partir dele”.

De um modo mais sério, Eddington apresentou um resumo honesto do estado do modelo do Big Bang. Lembrou que havia importantes razões teóricas e evidências observacionais persuasivas a favor de um momento de criação, mas que também restava uma imensa quantidade de trabalho a ser feito antes que o modelo do Big Bang pudesse ser amplamente aceito. Chamou os desvios para o vermelho de Hubble de “um fio muito delgado para sustentar conclusões amplas”. O ônus da prova caía claramente sobre os proponentes do modelo do Big Bang, e ele os encorajava a procurar mais evidências para defender suas posições.

Enquanto a comunidade científica ainda se agarrava à visão tradicional de um universo eterno e principalmente estático, os defensores do Big Bang se preparavam para a batalha adiante, animados, até certo ponto, porque agora estavam em posição de manter um debate amadurecido com os conservadores. A cosmologia não era mais dominada pelo mito, a religião e o dogma, e era menos suscetível à moda e à força das personalidades, porque o poder dos telescópios do século XX prometia observações que poderiam ajudar a reforçar uma teoria e destruir outra.

O próprio Eddington sentia-se otimista de que alguma versão do modelo do Big Bang finalmente triunfasse. No final do seu livro, ele criou uma imagem simples e no entanto significativa para ilustrar o estado do modelo do Big Bang no início da década de 1930:

Até que ponto devemos acreditar nessa história? A ciência tem os seus salões de exposição e as suas oficinas. O público hoje em dia, eu acho que com razão, não se contenta em caminhar pelos salões de exposição onde os produtos testados são exibidos; eles querem ver o que está sendo feito nas ofici-

nas. Você é bem-vindo dentro delas; mas não julgue o que vê pelos mesmos padrões do salão de exposição. Estamos passeando pela oficina no porão do prédio da ciência. A iluminação é fraca e às vezes tropeçamos. À nossa volta está a confusão e a bagunça que ainda não foi arrumada. Os trabalhadores e suas máquinas estão envolvidos pela escuridão. Mas acho que alguma coisa está sendo moldada aqui — talvez alguma coisa grande. Mas não sei como vai ser quando estiver completa e aprimorada para o salão de exposições.

## Do cósmico ao atômico

Para que o modelo do Big Bang fosse aceito, restava uma questão aparentemente inofensiva que não podia ser ignorada: por que algumas substâncias são mais comuns do que as outras? Se examinarmos nosso próprio planeta, veremos que o núcleo da Terra é feito de ferro, sua crosta é dominada pelo oxigênio, silício, alumínio e ferro, os oceanos são principalmente feitos de hidrogênio e oxigênio (ou seja,  $H_2O$ , água) e a atmosfera é principalmente nitrogênio e oxigênio. Se nos aventurarmos mais além, descobriremos que essa distribuição não é típica em uma escala cósmica. Usando a espectroscopia para estudar a luz das estrelas, os astrônomos perceberam que o hidrogênio é, de longe, o elemento mais abundante no universo. Tal conclusão foi celebrada atualizando-se uma famosa canção de ninar.

Pisca pisca estrelinha  
 Eu não imagino mais quem és  
 Pois com o poder do espectroscópio  
 Eu sei que és hidrogênio  
 Pisca pisca estrelinha  
 Eu não imagino mais quem és

O segundo mais abundante elemento no universo é o hélio, e hidrogênio e hélio juntos dominam o cosmos. Esses são também os dois elementos menores e mais leves, assim os astrônomos enfrentam o fato de que o universo consiste, predominantemente, em átomos pequenos em lugar de átomos grandes. A extensão dessa tendência é salientada pela seguinte lista de abun-

dância cósmica de acordo com o número de átomos. Esses valores são baseados em medições atuais, que não estão longe dos valores estimados na década de 1930.

Elemento	Abundância relativa
Hidrogênio	10.000
Hélio	1.000
Oxigênio	6
Carbono	1
Todos os outros	menos de 1

Em outras palavras, juntos, o hidrogênio e o hélio respondem por aproximadamente 99,9% de todos os átomos no universo. Os dois elementos mais leves são extremamente abundantes, depois há um grupo de átomos leves e de peso médio que são menos comuns e por fim os átomos mais pesados, como o ouro e a platina, que são de fato raros.

Os cientistas começaram a imaginar por que existiam esses extremos de abundância cósmica entre os elementos leves e os pesados. Os defensores do universo eterno não conseguiam fornecer uma resposta clara; sua posição final era de que o universo sempre contivera os elementos em suas proporções atuais e sempre as teria. A variedade de abundância era simplesmente uma propriedade inerente do universo. Não era uma resposta muito satisfatória, mas tinha uma certa coerência.

Contudo, o mistério da abundância era mais problemático para os defensores do Big Bang. Se o universo tinha evoluído a partir de um momento de criação, por que evoluíra de um modo a gerar mais hidrogênio e hélio do que ouro e platina? O que havia no processo de criação que dava preferência a elementos leves em lugar dos pesados? Qualquer que fosse a explicação, os defensores do Big Bang tinham que encontrá-la e mostrar que era compatível com o seu modelo. Qualquer teoria cosmológica razoável tinha que explicar precisamente como o universo se tornou aquilo que é hoje, de outro modo seria considerada um fracasso.

A abordagem desse problema seria bem diferente de qualquer investigação cósmica anterior. No passado, os cosmólogos tinham se concentrado no



que era muito grande. Por exemplo, eles tinham estudado o universo usando a relatividade geral, a teoria que descrevia a força de longo alcance da gravidade entre gigantescos corpos celestes. E usavam enormes telescópios para olhar para grandes galáxias que estavam muito distantes. Mas, para lidar com o problema da abundância cósmica, os cientistas precisariam de novas teorias e de novos equipamentos para sondar o muito, muito pequeno.

Antes de aventurar-se nessa parte da história do Big Bang, primeiro será necessário darmos um curto passo para trás no tempo e examinar a moderna história do átomo. O resto dessa seção conta a história dos físicos que estabeleceram os fundamentos da física atômica, e cujo trabalho capacitou os defensores do Big Bang a investigarem por que o universo é cheio de hidrogênio e hélio.

As tentativas para entender o átomo progrediram quando os químicos e os físicos ficaram intrigados com o fenômeno da *radioatividade*, que foi descoberta em 1896. Ficou aparente que alguns dos átomos mais pesados, como o urânio, são radioativos, o que significa que são capazes de emitir, espontaneamente, quantidades muito altas de energia na forma de radiação. Durante algum tempo, ninguém pôde entender o que era essa radiação ou o que a causava.

Marie e Pierre Curie estavam na dianteira da pesquisa da radioatividade. Eles descobriram novos elementos radioativos, incluindo o rádio, que é 1 milhão de vezes mais radioativo do que o urânio. As emissões radioativas do rádio são, finalmente, absorvidas pelo que quer que o cerque, e a energia é convertida em calor. De fato, um quilograma de rádio gera energia suficiente para ferver um litro de água em meia hora, e, o que é mais impressionante, a radioatividade continua quase inalterada — assim, um único quilograma pode continuar a ferver um novo litro de água a cada trinta minutos durante milhares de anos. Embora libere sua energia muito lentamente, comparado com um explosivo, o rádio por fim libera milhões de vezes mais energia do que o seu peso equivalente em dinamite.

Durante muitos anos ninguém percebeu os perigos associados à radioatividade, e substâncias como o rádio eram vistas com um otimismo ingênuo. Sabin von Sochocky, da US Radium Corporation, previa que o rádio seria usado como uma fonte de energia doméstica: “Sem dúvida chegará um tem-

po em que você terá em sua casa uma sala iluminada inteiramente pelo rádio. A luz, emitida pela tinta de rádio nas paredes e no teto, será tão suave, em intensidade e cor, quanto a luz do luar”.

Os Curie sofreram lesões, mas continuaram com sua pesquisa. Seus livros de anotações ficaram tão radioativos, depois de anos de exposição ao rádio, que hoje têm de ser guardados em caixas revestidas de chumbo. As mãos de Marie ficavam cobertas de poeira de rádio com tanta frequência que seus dedos deixavam traços invisíveis nas páginas dos livros de anotações, e um filme fotográfico, colocado entre as páginas, pode realmente registrar suas impressões digitais. Marie acabou morrendo de leucemia.

1																	2								
H																	He								
3	4															5	6	7	8	9	10				
Li	Be															B	C	N	O	F	Ne				
11	12															13	14	15	16	17	18				
Na	Mg															Al	Si	P	S	Cl	Ar				
19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36								
K	Ca	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br	Kr								
37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54								
Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te	I	Xe								
55	56	57	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86								
Cs	Ba	La	Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn								
87	88	89	104	105	106	107	108	109	110																
Fr	Ra	Ac	Rf	Db	Sg	Bh	Hs	Mt	Uun																
		58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71										
		Ce	Pr	Nd	Pm	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu										
		90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100	101	102	103										
		Th	Pa	U	Np	Pu	Am	Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Md	No	Lr										

Figura 66 A tabela periódica exibe todos os elementos químicos, os fundamentos para a construção da matéria. Eles poderiam ser colocados em uma única fileira, dos mais leves aos mais pesados (1 hidrogênio, 2 hélio, 3 lítio, 4 berílio etc.), mas este arranjo tabular é mais esclarecedor. Os grupos de elementos na tabela periódica refletem propriedades comuns. Por exemplo, a coluna na extrema direita contém os chamados gases nobres (hélio, neônio etc.), cujos átomos raramente reagem com outros átomos para formar moléculas. Apesar de cumprir a função de ajudar a entender como os elementos reagem uns com os outros, a tabela periódica não ofereceu nenhuma pista para a causa da radioatividade.

De muitos modos os grandes sacrifícios feitos pelos Curie, em seu laboratório abarrotado de Paris, serviram apenas para destacar a grande falta de

compreensão sobre o que estava acontecendo dentro do átomo. Os cientistas pareciam ter recuado em seu conhecimento — apenas algumas décadas antes eles tinham afirmado que compreendiam totalmente os fundamentos da matéria graças à tabela periódica. Em 1869, o químico russo Dmitri Mendeleiev tinha desenhado uma carta que enumerava todos os elementos então conhecidos, do hidrogênio ao urânio. Combinando os átomos dos diferentes elementos na tabela periódica, nas várias proporções, era possível construir moléculas e explicar toda a matéria sob o Sol, dentro do Sol e além do Sol. Por exemplo, dois átomos de hidrogênio mais um átomo de oxigênio formam uma molécula de água,  $H_2O$ . Isso continuava verdadeiro, mas os Curie tinham demonstrado que existia uma poderosa fonte de energia dentro de alguns átomos, e a tabela periódica não podia explicar tal fenômeno. Ninguém de fato tinha um palpite sobre o que acontecia dentro do átomo. Os cientistas do século XIX tinham imaginado os átomos como esferas simples, mas tinha que existir alguma coisa mais complexa na estrutura atômica para produzir a radioatividade.

Um dos físicos atraídos pelo problema foi o neozelandês Ernest Rutherford. Ele era muito querido pelos seus colegas e alunos, mas também era conhecido como rude e autoritário, dado a acessos de raiva e exibições de arrogância. Por exemplo, de acordo com Rutherford, a física era a única ciência importante. Ele acreditava que ela fornecia uma compreensão profunda e cheia de significado do universo, enquanto todas as outras ciências estavam preocupadas em medir e catalogar. Certa vez ele disse: “Toda a ciência ou é física ou é coleção de selos”. Este comentário radical voltou-se contra ele quando o Comitê Nobel lhe deu o prêmio de Química de 1908.

Quando Rutherford se aventurou em sua pesquisa, no início da década de 1900, a imagem dos átomos tornara-se um pouco mais sofisticada do que a esfera simples e sem estrutura imaginada no século XIX. Agora se considerava que os átomos continham dois ingredientes, um material carregado positivamente e outro carregado negativamente. E, como cargas opostas se atraem, era assim que esses materiais permaneciam ligados dentro do átomo. Então, em 1904, o eminente físico de Cambridge, J. J. Thomson, apresentou um aprimoramento que ficou conhecido como modelo do pudim de ameixas, no qual o átomo consistia num certo número de partículas negati-

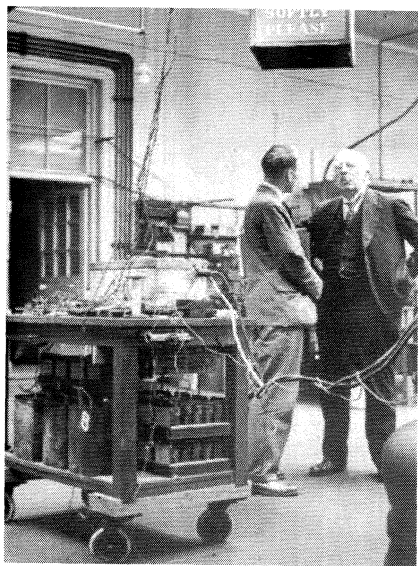
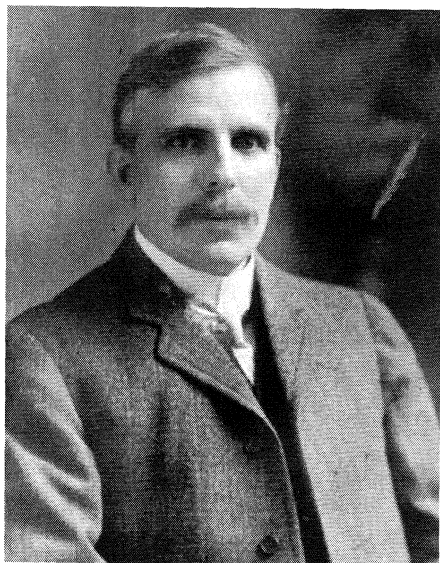
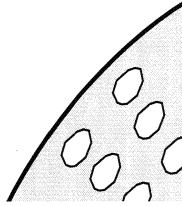


Figura 67 O retrato de Ernest Rutherford foi tirado quando ele tinha cerca de 35 anos. Ele desprezava os químicos, o que não é incomum entre os físicos. Por exemplo, o físico Prêmio Nobel Wolfgang Pauli ficou furioso quando a esposa o trocou por um químico: “Se ela tivesse me deixado por causa de um toureiro eu teria entendido, mas um simples químico ordinário...”. A segunda fotografia mostra um Rutherford mais maduro junto com seu colega John Ratcliffe no Laboratório Cavendish. O letreiro “FALE BAIXO” acima de suas cabeças era um lembrete para Rutherford, que tinha uma predileção para cantar “Avante soldados de Cristo” com toda a sua voz, perturbando o sensível equipamento do laboratório.

vas, incrustadas num material positivamente carregado semelhante a uma massa, como mostrado na figura 68.

Uma forma de radioatividade envolvia a emissão de partículas positivamente carregadas, conhecidas como *partículas alfa*. Presumivelmente, isso poderia ser explicado em termos dos átomos cuspindo fagulhas do bolo positivo. Para testar essa hipótese, e todo o modelo do pudim de ameixas, Rutherford decidiu verificar o que aconteceria se ele pegasse as partículas alfa emitidas por um conjunto de átomos e as disparasse contra outro conjunto de átomos. Em outras palavras, ele queria usar as partículas alfa para sondar o átomo.

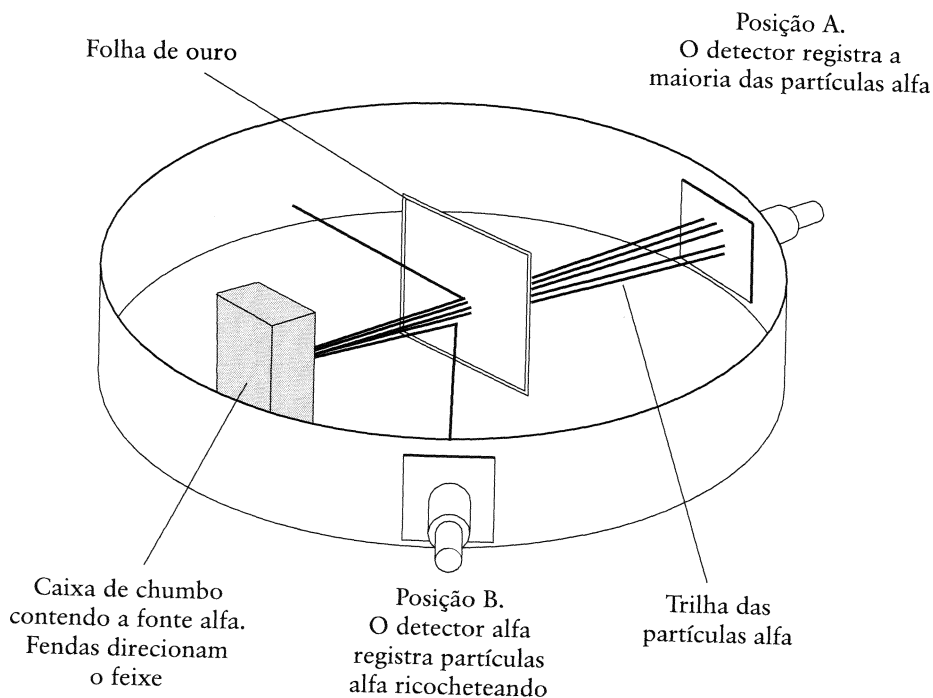


**Figura 68** Este corte transversal mostra o modelo do pudim de ameixas do átomo, de J. J. Thomson, em que cada átomo consiste num número de partículas negativas (as ameixas) dentro de uma massa positivamente carregada (o pudim). Um átomo leve de hidrogênio teria uma partícula negativa dentro de uma pequena quantidade de massa positiva, enquanto um átomo pesado de ouro teria muitas partículas negativas espalhadas dentro de uma grande quantidade de massa positiva.

Em 1909, Rutherford pediu a dois jovens físicos, Hans Geiger e Ernst Marsden, para realizarem a experiência. Mais tarde, Geiger ficaria famoso pela invenção do detector de radiação, o contador Geiger, mas na ocasião os dois tinham apenas o equipamento mais primitivo. O único meio de detectar a presença das partículas alfa era colocar uma tela feita de sulfeto de zinco no local aonde as partículas alfa deveriam chegar. As partículas emitiriam um minúsculo clarão de luz à medida que atingissem o sulfeto de zinco. Mas, para ver o lampejo, Geiger e Marsden tinham que passar trinta minutos adaptando seus olhos à escuridão absoluta. E mesmo assim ainda era preciso olhar a tela de sulfeto de zinco com um microscópio.

Um elemento-chave no experimento era uma amostra de rádio, que lançava as partículas alfa em todas as direções. Geiger e Marsden cercaram o rádio com um escudo de chumbo contendo uma fenda estreita, que transformava a chuva de partículas num feixe controlado. Em seguida, colocaram uma folha de ouro na linha de fogo para ver o que aconteceria com as partículas alfa quando atingissem os átomos de ouro, como mostrado na figura 69.

As partículas alfa são positivamente carregadas, e os átomos são uma mistura de cargas positivas e negativas; cargas semelhantes se repelem enquanto cargas diferentes se atraem. Daí que Geiger e Marsden esperavam que a interação entre as partículas alfa e os átomos de ouro revelaria alguma coisa sobre a distribuição de cargas dentro dos átomos. Por exemplo, se os



**Figura 69** Ernest Rutherford pediu a seus colegas, Hans Geiger e Ernst Marsden, que estudassem a estrutura do átomo usando partículas alfa. Suas experiências usaram uma amostra de rádio como fonte de partículas alfa. Uma fenda no escudo de chumbo, em torno da amostra, dirige um feixe de partículas alfa sobre uma folha de ouro e um detector alfa pode ser colocado em posições diferentes em torno da folha de ouro para monitorar a deflexão das partículas alfa.

A grande maioria das partículas abriu caminho através da folha com pouca ou nenhuma deflexão e atingiu o detector na posição A. Era o esperado caso o modelo do pudim de ameixas de Thomson fosse correto, porque ele imaginava as partículas negativas espalhadas de modo uniforme na massa positiva.

Contudo, em alguns casos, as partículas ricocheteavam de modo surpreendente, e eram captadas pelo detector, quando ele era movido para a posição B. Isso inspirou Rutherford a criar um novo modelo do átomo.

átomos de ouro de fato consistissem em partículas negativas, espalhadas em uma massa positiva, então as partículas alfa deveriam ser desviadas apenas ligeiramente, porque estariam encontrando uma mistura de cargas igualmente distribuídas. E, de fato, quando Geiger e Marsden colocaram sua tela de sulfeto de zinco do outro lado da folha, diretamente oposta à amostra de rádio, perceberam apenas um desvio mínimo na trilha das partículas alfa.

Rutherford então pediu que o detector fosse movido em torno do experimento até ficar do mesmo lado da folha que a fonte de rádio, “Só para ver no que daria”. A idéia era procurar partículas alfa que pudessem ricochetear da folha de ouro. Se Thomson estivesse certo, então nada deveria ser detectado, porque sua massa de cargas do modelo pudim de ameixas não teria um efeito tão drástico sobre uma partícula alfa. Contudo, Geiger e Marsden ficaram perplexos com o que viram. Eles de fato detectaram partículas alfa que aparentemente tinham ricocheteado ao atingir os átomos de ouro. Apenas uma em cada 8 mil partículas alfa ricocheteava, mas era uma a mais do que o previsto pelo modelo de Thomson. Os resultados da experiência pareciam contradizer o modelo do pudim de ameixas.

Para o não-iniciado, isso poderia parecer apenas outra experiência com um resultado inesperado. Mas, para Rutherford, que tinha adquirido um profundo entendimento de como o átomo deveria ser, foi um choque total: “Foi o acontecimento mais incrível de toda a minha vida. Era tão inacreditável quanto se você disparasse uma bala de canhão de 15 polegadas contra uma folha de papel e ela voltasse para atingi-lo”.

O resultado parecia impossível no contexto dos átomos do modelo pudim de ameixas. Daí que a experiência compeliu Rutherford a abandonar o modelo de Thomson e elaborar um modelo inteiramente novo, um modelo de átomo que explicasse o ricochete das partículas. Ele lutou com o problema até chegar a uma estrutura atômica que parecia fazer sentido. Rutherford ofereceu uma representação do átomo que ainda é bem válida hoje em dia.

O modelo de Rutherford concentrava todas as cargas positivas em partículas chamadas *prótons*, que ficavam posicionadas no centro do átomo, em uma região chamada *núcleo*. As partículas de carga negativa, chamadas *elétrons*, orbitavam o núcleo e eram presas ao átomo pela força de atração entre suas cargas negativas e as cargas positivas dentro do núcleo, como

mostrado na figura 70. Esse modelo às vezes é chamado de modelo planetário do átomo, porque os elétrons orbitam o núcleo como os planetas orbitam o Sol. Elétrons e prótons têm cargas iguais e opostas, e cada átomo contém o mesmo número de elétrons e de prótons, assim o átomo de Rutherford tinha carga total igual a zero, o que significa que ele era neutro.

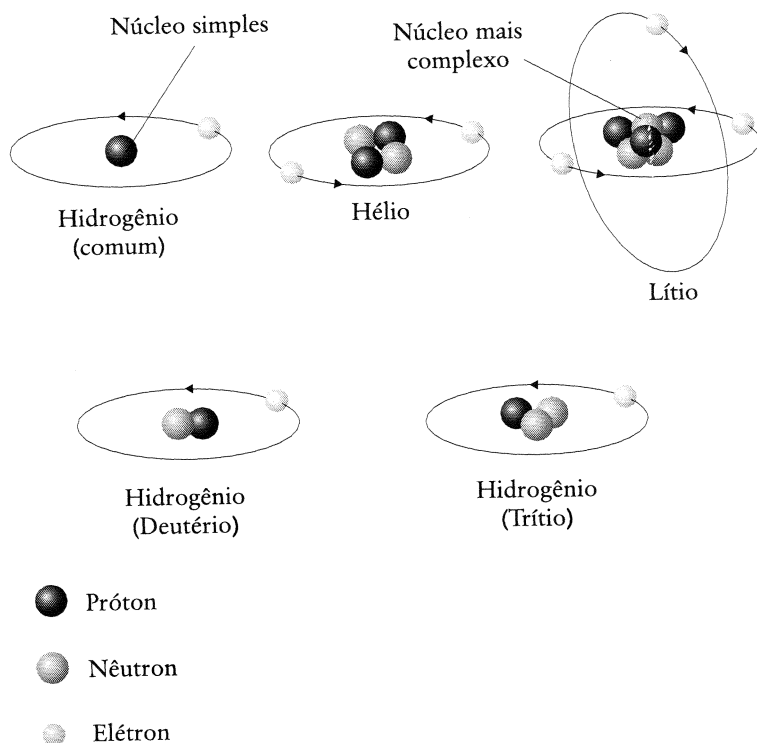
O número de prótons e elétrons é crucial, porque define o tipo de átomo, e é este número que aparece ao lado de cada átomo na tabela periódica (figura 66, página 270). O hidrogênio é catalogado com o número atômico 1, porque seus átomos têm um elétron e um próton; o hélio tem número atômico 2, porque seus átomos têm dois elétrons e dois prótons, e assim por diante.

Rutherford também suspeitava de que o núcleo continha um tipo de partícula sem carga, e mais tarde se provaria que ele estava certo; o *nêutron* tem quase a mesma massa do próton, mas não tem carga. Como explicado na figura 70, o número de nêutrons no núcleo pode variar, mas enquanto o número de prótons em um átomo for o mesmo, ele ainda será um átomo do mesmo tipo de elemento. Por exemplo, a maioria dos átomos de hidrogênio não tem nêutrons, mas alguns apresentam um ou dois nêutrons, e são chamados, respectivamente, de deutério e trítio. O hidrogênio comum, o deutério e o trítio são todas formas do hidrogênio, porque todos contêm um próton e um elétron e são conhecidos como *isótopos* do hidrogênio.

Embora os átomos variem de tamanho, dependendo de seu número de prótons, nêutrons e elétrons, eles geralmente são um pouco menores do que um bilionésimo de um metro em diâmetro. Contudo, a experiência de dispersão de Rutherford sugeria que o núcleo atômico teria um diâmetro 100 mil vezes menor. Em termos de volume, o núcleo atômico representa apenas  $(1/100.000)^3$  ou 0,00000000000001% de todo o átomo.

Isso é extraordinário: Os átomos, que formam tudo que é sólido e tangível no mundo ao nosso redor, consistem quase inteiramente em espaço vazio. Se um único átomo de hidrogênio fosse ampliado até ocupar inteiramente uma sala de concertos, como o Royal Albert Hall de Londres, o núcleo seria do tamanho de uma pulga, no meio do vasto vazio da sala, e no entanto ele seria muito maior do que o pequeno elétron pairando em algum lugar da sala. Além disso o próton e o nêutron pesam, cada um, quase 2 mil vezes





**Figura 70** O modelo de átomo de Rutherford tinha prótons de carga positiva concentrados em um núcleo central, cercados pelos elétrons orbitantes de carga negativa. Esses diagramas não foram desenhados em escala, porque o diâmetro do núcleo é em torno de 100 mil vezes menor do que o diâmetro do átomo. O número de prótons iguala o número de elétrons, e esse *número atômico* é o mesmo para todos os átomos de um dado elemento e determina sua posição na tabela periódica (figura 66). Átomos de hidrogênio têm um elétron e um próton, os átomos de hélio, dois elétrons e dois prótons, os átomos de lítio, três elétrons e três prótons, e assim por diante.

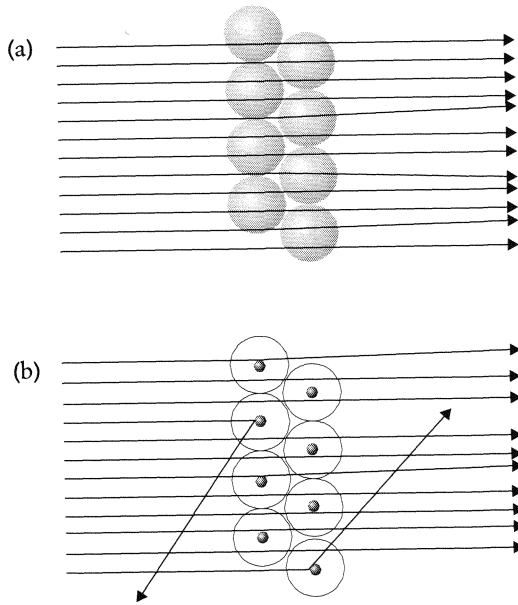
O número de nêutrons no núcleo pode variar, mas, enquanto o número de prótons continuar o mesmo, ele ainda será considerado um átomo do mesmo elemento químico. Por exemplo, a maioria dos átomos de hidrogênio não têm nêutrons, mas alguns têm um nêutron e são chamados de deutério, e outros têm dois nêutrons e são chamados de trítio. Hidrogênio simples, deutério e trítio são ditos isótopos de hidrogênio.

mais do que o elétron, e os prótons e nêutrons ficam no núcleo infinitesimalmente pequeno, assim, pelo menos 99,95% da massa de um átomo ficam espremidos em 0,00000000000001% de seu volume.

Esse modelo atômico revisado fornecia uma explicação perfeita para os resultados da experiência de Rutherford. Como a maior parte do átomo é espaço vazio, então a grande maioria das partículas alfa passava pela folha de ouro com um desvio mínimo. Contudo, uma pequena fração das partículas alfa, positivamente carregadas, colidiria de frente com a concentração de cargas positivas de um núcleo atômico, e isso provocaria um drástico ricochete. Essas duas formas de interação estão ilustradas na figura 71. Inicialmente os resultados da experiência de Rutherford pareciam impossíveis, mas com o modelo revisado tudo parecia óbvio. Rutherford disse uma vez: “é impossível até que você entenda, então se torna trivial”.

Só restava um problema: ainda não havia evidência dos nêutrons de Rutherford, que deviam ficar com os prótons no núcleo atômico. Essa peça ausente do quebra-cabeça atômico era difícil de encontrar porque o nêutron é eletricamente neutro, diferente do próton positivamente carregado e do elétron de carga negativa. James Chadwick, um dos protegidos de Rutherford, resolveu provar sua existência. Ele ficou tão obcecado pela nova ciência da *física nuclear* que continuou sua pesquisa nos quatro anos que passou como prisioneiro de guerra na Alemanha, durante a Primeira Guerra Mundial. Ele sabia que uma certa marca de pasta de dente continha o tório radioativo — supunha-se que ele daria aos dentes um brilho luminoso — e conseguiu obter um pouco com os guardas de modo a fazer experiências com a pasta. Chadwick não fez muitos progressos com suas experiências em pasta de dente, mas voltou ao seu laboratório depois da guerra, trabalhou mais uma década e acabou descobrindo o ingrediente perdido do átomo em 1932. De fato, a porta aberta vista à esquerda na figura 67 (p. 272) leva ao laboratório no qual James Chadwick descobriu o nêutron.

Armados com o entendimento adequado da estrutura atômica e de seus componentes, os físicos puderam afinal explicar a causa da radioatividade que fora estudada por Pierre e Marie Curie. Cada núcleo atômico era feito de prótons e nêutrons individuais, e esses ingredientes podiam ser intercambiados para transformar um núcleo em outro tipo de núcleo, trans-



**Figura 71** Os resultados da experiência de Geiger e Marsden mostram que uma pequena fração das partículas alfa ricocheteia de volta ao atingir a folha de ouro. Isso não faz sentido no contexto do modelo do pudim de ameixas de Thomson. O diagrama (a) mostra a folha de ouro feita de átomos pudim de ameixas. A massa positiva, salpicada de partículas de ameixa negativas, tem uma distribuição de cargas muito uniforme, assim as partículas alfa, positivamente carregadas, quase não se desviam.

O diagrama (b) mostra uma folha de ouro feita de átomos de Rutherford, o que explica o ricochete das partículas alfa. Neste modelo, a carga positiva fica concentrada em um núcleo central. A maioria das partículas alfa não é desviada, porque a maior parte do átomo é um vazio. Contudo, se uma partícula alfa atingir a carga positiva concentrada do núcleo, será desviada de modo marcante.

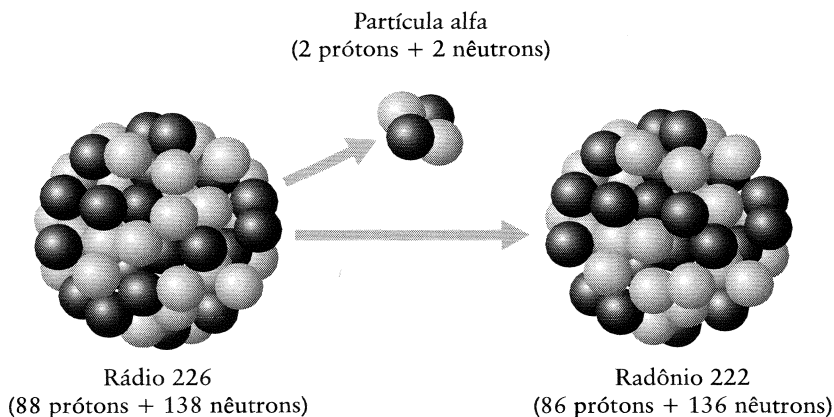
formando, portanto, um átomo em outro. Esse era o mecanismo subjacente à radioatividade.

Por exemplo, os núcleos de átomos pesados, como o rádio, são muito grandes. De fato, o núcleo do rádio, estudado pelos Curie, continha 88 prótons e 138 nêutrons. Núcleos tão grandes são freqüentemente instáveis e portanto sujeitos a se transformarem em núcleos menores. No caso do rádio, o núcleo cospe um par de prótons e um par de nêutrons na forma de uma partícula alfa (que também é o núcleo do átomo de hélio), e se transfor-

ma assim num núcleo de radônio, consistindo em 86 prótons e 136 nêutrons, como mostrado na figura 72. O processo pelo qual os núcleos grandes se dividem em núcleos menores é chamado de *fissão*.

Embora normalmente as associemos com núcleos muito pesados, as reações nucleares também podem acontecer com núcleos muito leves, como o hidrogênio. É possível transformar núcleos de hidrogênio e nêutrons em hélio, juntando-os num processo chamado  *fusão*. O hidrogênio é relativamente estável, assim esse processo não ocorre espontaneamente, mas, dadas as condições certas de alta temperatura e pressão, então o hidrogênio vai se fundir no hélio. O incentivo para o hidrogênio se fundir no hélio é que o hélio é ainda mais estável do que o hidrogênio, e existe sempre uma tendência para os núcleos buscarem a maior estabilidade possível.

Em geral, os átomos mais estáveis são aqueles encontrados no meio da tabela periódica, como o ferro, e esses são também aqueles com números médios de prótons e nêutrons em seus núcleos. Portanto, enquanto os núcleos muito grandes podem sofrer fissão e os núcleos menores podem sofrer



**Figura 72** Existem vários isótopos do rádio, mas este núcleo é o mais comum e é chamado de rádio 226, porque ele consiste em 88 prótons e 138 nêutrons, totalizando 226 partículas. O núcleo do rádio é grande e portanto altamente instável. Assim, sofre fissão e ejeta dois nêutrons e dois prótons na forma de uma partícula alfa, transformando-se num núcleo menor de radônio, que também é um tanto instável.

fusão, a grande maioria dos núcleos, de tamanho médio, praticamente nunca sofre nenhum tipo de reação nuclear.

Embora isso explique como as reações nucleares funcionam e por que o rádio é radioativo (e o ferro não é), não explica por que os Curie detectaram enormes quantidades de energia quando o rádio passa pela fissão. As reações nucleares são notórias pela quantidade de energia que liberam, mas de onde ela vem?

A resposta se encontra na teoria da relatividade especial de Einstein, e em um aspecto particular que não foi abordado no capítulo 2. Quando Einstein analisou a velocidade da luz e percebeu suas implicações para o espaço e o tempo, ele também derivou sua mais famosa equação na física,  $E = mc^2$ . Em essência, isso diz que energia ( $E$ ) e massa ( $m$ ) são equivalentes e podem ser transformadas uma na outra com um fator de conversão de  $c^2$ , onde  $c$  é a velocidade da luz. A velocidade da luz é  $3 \times 10^8$  m/s, assim  $c^2$  é  $9 \times 10^{16}$  (m/s)<sup>2</sup>, o que significa que uma minúscula quantidade de massa pode ser convertida em uma imensa quantidade de energia.

E de fato a energia liberada durante as reações nucleares vem diretamente da conversão de minúsculas quantidades de massa em energia. Quando um núcleo de rádio é transformado em um núcleo de radônio e uma partícula alfa, a massa combinada do produto é menor do que a massa do núcleo de rádio. A perda de massa é de apenas 0,0023%, assim 1 kg de rádio seria convertido em 0,999977 kg de radônio e partículas alfa. Embora a perda de massa seja pequena, o fator de conversão ( $c^2$ ) é imenso, assim o 0,000023 kg perdido é convertido em mais de  $2 \times 10^{12}$  joules de energia, que equivale à energia de mais de quatrocentas toneladas de TNT. A energia é liberada na fusão exatamente do mesmo modo, mas a quantidade de energia liberada é geralmente ainda maior. Uma bomba de fusão de hidrogênio é muito mais devastadora do que uma bomba de fissão de plutônio.

Faz algum tempo que a astronomia ou a cosmologia foram mencionadas neste capítulo, mas foi importante introduzir essas descobertas feitas na física atômica e nuclear, porque elas desempenhariam um papel crucial no teste do modelo do Big Bang. O modelo nuclear do átomo de Rutherford e a compreensão das reações nucleares (fissão e fusão), que dele emergiram, estabeleceram o cenário para um novo modo de se estudar o céu. Antes de

retornar ao nosso assunto principal, aqui está um resumo dos pontos-chave que emergiram da física nuclear:

1. Átomos consistem em elétrons, prótons e nêutrons.
2. Prótons e nêutrons ocupam o centro do átomo, ou seja, o núcleo.
3. Elétrons orbitam o núcleo atômico.
4. Núcleos grandes são freqüentemente instáveis e podem se partir (fissão).
5. Os núcleos pequenos são mais estáveis, mas podem ser levados a se fundir (fusão).
6. Os núcleos depois da fissão/fusão pesam menos do que o núcleo inicial.
7. Graças a  $E = mc^2$ , essa redução de massa leva a uma liberação de energia.
8. Os núcleos médios são mais estáveis, raramente sofrendo reações.
9. Mesmo os núcleos muito leves ou muito pesados às vezes necessitam de altas energias e pressões antes de sofrerem fusão ou fissão.

Um dos primeiros cientistas a ligarem essas regras da física nuclear à astronomia foi um físico corajoso e honrado chamado Fritz Houtermans, bem conhecido pelo seu charme e humor. Ele é possivelmente o único físico cujas piadas foram reunidas e publicadas em um livrete de quarenta páginas. A mãe de Houtermans era meio-judia e ele às vezes respondia a comentários anti-semitas dizendo: “Quando seus ancestrais ainda viviam em árvores, os meus já estavam fazendo cheques!”

Houtermans nasceu em 1903, em Zoppot, perto do que era então o porto báltico alemão de Danzig, conhecido hoje como Gdansk, na Polônia. Seus pais se mudaram para Viena, onde Houtermans passou a infância, e de onde voltou para a Alemanha, para estudar física em Göttingen, na década de 1920, onde conseguiu por fim o posto de pesquisador. Trabalhando junto com o cientista britânico Robert d’Escourt Atkinson, ele ficou fascinado pela noção de que a física nuclear poderia ser usada para explicar como o Sol e as outras estrelas brilhavam.

Sabia-se que o Sol era constituído principalmente de hidrogênio e parcialmente de hélio, assim, parecia natural presumir que a energia gerada pelo Sol era o resultado de reações nucleares em que o hidrogênio se fundia em hélio. Ninguém tinha observado a fusão nuclear na Terra, assim os deta-

lhes do mecanismo eram incertos. Mas sabia-se que, se o hidrogênio pudesse, de algum modo, ser transformado em hélio, haveria uma perda de 0,7% na massa: 1 kg de hidrogênio seria fundido, de algum modo, em 0,993 kg de hélio, resultando em uma perda de massa de 0,007 kg. Novamente isso pode parecer uma pequena perda de massa, mas a fórmula de Einstein  $E = mc^2$  explica como uma perda de massa aparentemente pequena pode resultar em uma quantidade imensa de energia:

$$\begin{aligned}\text{Energia} &= mc^2 = \text{massa} \times (\text{velocidade da luz})^2 \\ &= 0,007 \times (3 \times 10^8)^2 = 6,3 \times 10^{14} \text{ joules}\end{aligned}$$

Assim, em teoria, 1 kg de hidrogênio poderia ser fundido em exatamente 0,993 kg de hélio e gerar  $6,3 \times 10^{14}$  joules de energia, o que é igual à energia gerada pela queima de 100 mil toneladas de carvão.

A principal questão que incomodava Houtermans era se as condições no Sol seriam extremas o bastante para provocar a fusão. Já foi mencionado antes que as reações de fusão não podem acontecer espontaneamente e exigem altas temperaturas e pressões. Isso se dá porque elas precisam de uma injeção inicial de energia para disparar a reação. No caso da fusão de dois núcleos de hidrogênio, essa energia é necessária para superar a repulsão inicial. Um núcleo de hidrogênio é um próton com uma carga positiva, de modo que irá repelir outro núcleo de hidrogênio com sua carga positiva, porque cargas iguais se repelem. Contudo, se os prótons puderem chegar bem perto um do outro, então haverá uma força de atração, conhecida como *força nuclear forte*, que irá superar a repulsão e unir os núcleos firmemente para formar o hélio.

Houtermans calculou que a distância crítica era de  $10^{-15}$  metros, que é um trilionésimo de um milímetro. Se dois núcleos de hidrogênio se aproximando pudessem chegar tão perto um do outro, então a fusão aconteceria. Houtermans e Atkinson estavam convencidos de que as pressões e temperaturas nas profundezas do Sol eram grandes o bastante para forçar os núcleos de hidrogênio até a distância crítica de  $10^{-15}$  metros, o que resultaria na fusão, liberando energia para manter a temperatura e estimular mais fusão. Eles publicaram suas idéias sobre fusão estelar em 1929 na revista *Zeitschrift für Physik*.

Houtermans acreditava que ele e Atkinson estavam no caminho certo para explicar por que as estrelas brilham. Ele estava tão orgulhoso de sua pesquisa que não deixou de se gabar a respeito para a moça com quem estava saindo. Mais tarde, lembrou o diálogo que aconteceu na noite após completar seu trabalho sobre a fusão estelar:

Naquela tarde, depois de terminar o artigo, eu saí para caminhar com uma linda garota. Assim que ficou escuro, as estrelas surgiram, uma após a outra, em todo o seu esplendor. “Elas não brilham lindamente?”, exclamou minha companheira. Eu simplesmente estufei o peito e disse orgulhoso: “Desde ontem eu sei por que elas brilham”.

A moça, Charlotte Riefenstahl, ficou claramente impressionada e se casou com ele mais tarde. Houtermans contudo tinha desenvolvido apenas uma teoria parcial da fusão estelar. Mesmo que o Sol pudesse fundir dois núcleos de hidrogênio num núcleo de hélio, seria um isótopo muito leve e instável de hélio — o hélio estável precisa que mais dois nêutrons sejam acrescentados ao núcleo. Houtermans estava seguro de que o nêutron existia, e de fato estava presente no Sol, mas os nêutrons ainda não tinham sido descobertos quando ele publicou seu trabalho com Atkinson em 1929. Houtermans, portanto, desconhecia completamente as várias propriedades do nêutron e não conseguiu completar seus cálculos.

Quando o nêutron foi descoberto por Chadwick, em 1932, Houtermans estava na posição ideal para preencher os detalhes que faltavam em sua teoria. Mas a política interferiu. Ele tinha sido membro do Partido Comunista e temia tornar-se uma vítima da perseguição nazista. Em 1933, fugiu da Alemanha para a Grã-Bretanha, onde não gostou nem da comida nem da cultura. Houtermans comentou que não conseguia tolerar o odor sempre presente de carneiro cozido e chamou a Inglaterra de “o domínio das batatas salgadas”. No final de 1934, ele foi para a União Soviética. De acordo com seu biógrafo, Iossif Khriplovitch, sua emigração fora estimulada pelo “idealismo e a comida inglesa”.

O trabalho de Houtermans progrediu bem no Instituto Físico-Técnico Ucraniano até Stálin iniciar um expurgo da comunidade científica. Tendo

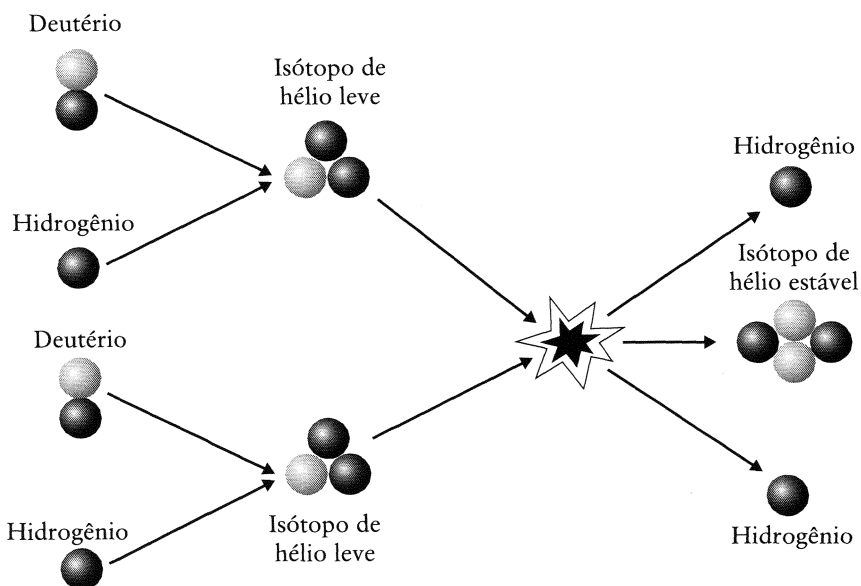


fugido dos nazistas, Houtermans estava agora sob a absurda suspeita de ser um espião nazista. Ele foi preso pela NKVD, a polícia secreta soviética, em 1937. Nos três anos seguintes, ou ficou trancado em uma cela superlotada, com mais de uma centena de prisioneiros, ou estava sendo interrogado e pressionado a admitir sua culpa. Houtermans foi interrogado durante mais de 11 dias, sem descanso, e durante esse tempo foi privado do sono e obrigado a ficar de pé. O pacto nazi-soviético levou à sua libertação em 1940, mas ele foi preso imediatamente pela Gestapo e interrogado de novo. Encontrou-se na posição única e desagradável de conseguir comparar a NKVD com a Gestapo: “A NKVD é uma organização muito mais séria. Quando eu estava sendo interrogado pela Gestapo, o interrogador mantinha a minha ficha aberta diante dele. Mas eu posso ler de cabeça para baixo. A NKVD nunca cometeria esse descuido”.

Durante a prisão de Houtermans, no final da década de 1930, outros físicos pegaram suas idéias sobre fusão estelar e calcularam, com exatidão de detalhes, o processo que estava acontecendo no Sol. O homem que mais contribuiu para completar a pesquisa de Houtermans foi Hans Bethe, que fora demitido de seu emprego na Universidade de Tübingen, em 1933, porque sua mãe era judia. Ele encontrou asilo primeiro na Grã-Bretanha e depois nos Estados Unidos, onde acabou se tornando chefe da divisão teórica em Los Alamos, sede do projeto da bomba nuclear.

Bethe identificou dois caminhos para transformar o hidrogênio em hélio que eram possíveis nas pressões e temperaturas que deviam existir no Sol. Em um caminho, o hidrogênio comum (um próton) reagia com o deutério, um isótopo mais raro e pesado do hidrogênio (um próton, um nêutron). Isso formava um isótopo relativamente estável de hélio contendo dois prótons e um nêutron. Em seguida, dois desses núcleos de hélio leve se fundiriam para formar o núcleo de hélio comum e estável, liberando dois núcleos de hidrogênio como subproduto. Esse processo é mostrado na figura 73.

O outro caminho proposto por Bethe para transformar o hidrogênio em hélio empregava um núcleo de carbono para prender os núcleos de hidrogênio. Se o Sol contivesse uma pequena quantidade de carbono, então cada núcleo de carbono poderia capturar e engolir núcleos de hidrogênio, um de cada vez, transformando-se num núcleo cada vez mais pesado. Por fim, o



**Figura 73** Este diagrama mostra um dos modos pelos quais o hidrogênio pode ser convertido em hélio no Sol. As esferas escuras representam prótons e as esferas mais claras, nêutrons. No primeiro estágio da reação, hidrogênio e deutério comuns se fundem para formar hélio. O hélio geralmente tem dois prótons e dois nêutrons, mas este isótopo tem dois prótons e apenas um nêutron. No segundo estágio, dois dos núcleos leves de hélio se fundem para formar o isótopo estável de hélio, liberando dois núcleos de hidrogênio (prótons) no processo. Esses núcleos de hidrogênio podem prosseguir para formar outros átomos de hélio. Em teoria, dois núcleos de deutério (um próton e um nêutron) podem se fundir diretamente para formar um núcleo de hélio estável (dois prótons e dois nêutrons). Contudo, o deutério é bem raro, assim a rota mais complexa é a mais produtiva.

núcleo de carbono transformado se tornaria instável, ejetando um núcleo de hélio e se transformando de novo num núcleo de carbono estável, e o processo recomeçaria. Em outras palavras, os núcleos de carbono agiriam como fábricas, usando núcleos de hidrogênio como matéria-prima e produzindo núcleos de hélio.

Essas duas rotas nucleares eram, inicialmente, especulativas, mas outros físicos verificaram as equações e confirmaram que as reações eram viáveis. Ao mesmo tempo, os astrônomos ficaram mais certos de que o ambiente no inte-

rior do Sol era intenso o bastante para iniciar as reações nucleares. Na década de 1940 ficou claro que ambas as reações propostas por Bethe estavam acontecendo no Sol e eram responsáveis por sua geração de energia. Os astrofísicos podiam visualizar exatamente como o Sol transformava 548 milhões de toneladas de hidrogênio em 580 milhões de toneladas de hélio, a cada segundo, transformando a massa perdida em energia luminosa. Apesar dessa taxa maciça de consumo, o Sol vai continuar a gerar energia por bilhões de anos, já que contém aproximadamente  $2 \times 10^{27}$  toneladas de hidrogênio.

Esse foi um marco no relacionamento entre o atômico e o cósmico. Os físicos nucleares tinham provado que podiam fazer uma contribuição concreta à astronomia explicando como as estrelas brilham. Agora os cosmólogos do Big Bang esperavam que a física nuclear pudesse ajudá-los a abordar uma questão ainda maior: como foi que o universo evoluiu para o seu estado atual? Estava claro agora que as estrelas podiam transformar átomos simples, como os de hidrogênio, em átomos levemente mais pesados, como o hélio, assim, talvez a física nuclear pudesse mostrar como o Big Bang criara a profusão de átomos que vemos hoje em dia.

Estava montado o cenário para a chegada de um novo pioneiro da cosmologia. Ele seria um cientista capaz de aplicar as rigorosas regras da física nuclear ao reino especulativo do Big Bang. Ao dominar as disciplinas da física nuclear e da cosmologia, ele estabeleceria um teste vital para o modelo de universo do Big Bang.

## Os primeiros cinco minutos

George Gamow era um ucraniano gregário e dissidente com um gosto por bebidas fortes e truques com cartas. Nascido em Odessa, em 1904, demonstrou interesse por ciência desde criança. Ficou fascinado com um microscópio que o pai lhe dera e o usou para analisar o processo da transubstanciação. Depois de fazer a primeira comunhão na Igreja Ortodoxa Russa local, ele correu para casa com um fragmento de pão e algumas gotas de vinho que escondera nas bochechas. Colocou-os no microscópio e comparou com o que via no pão e no vinho do dia-a-dia. Não achou nenhuma evidência de

que a estrutura do pão tivesse se transformado no corpo de Cristo, e mais tarde escreveu: “Acho que foi essa experiência que me tornou um cientista”.

Gamow tornou-se conhecido como um jovem físico ambicioso na Universidade Novorossia, em Odessa, e então, em 1923, foi estudar em Leníngrado com Aleksandr Friedmann, que, na ocasião, ainda desenvolvia sua nascente teoria do Big Bang. Os interesses de Gamow divergiam dos de Friedmann e ele rapidamente fez descobertas importantes na física nuclear. Seus trabalhos levaram o jornal estatal *Pravda* a dedicar-lhe um poema quando Gamow tinha apenas 27 anos de idade. Outro jornal declarou: “Um camarada soviético mostrou ao Ocidente que o solo russo pode produzir seus próprios Newtons e seu próprio Platão”.

Gamow contudo estava ficando insatisfeito com a vida acadêmica soviética. O Estado usava a filosofia marxista-leninista do materialismo dialético para ditar se as teorias científicas eram válidas ou inválidas. Isso levava a períodos em que os cientistas soviéticos eram obrigados a reconhecer a existência do desacreditado éter ou negar a testada teoria da relatividade. Usar a política para determinar a verdade científica era absurdo para um pensador livre como Gamow e ele passou a desprezar a atitude soviética para com a ciência e toda a ideologia comunista.

Em consequência disso, em 1932, Gamow tentou fugir da União Soviética atravessando o mar Negro até a Turquia. Mas a escapada acabou mostrando-se totalmente amadorística. Ele e sua esposa Liubov Vokhminzeva tentaram remar para a liberdade num pequeno caiaque através de 250 quilômetros de água. Gamow contou a história em sua autobiografia:

Um item importante era o suprimento de comida para a viagem, que nós calculávamos que duraria cinco ou seis dias... Cozinhamos alguns ovos e os guardamos para a viagem. Também conseguimos vários tabletes de chocolate duro e duas garrafas de licor, que se revelaram bem úteis quando estávamos molhados e gelados no mar... Uma coisa que descobrimos é que era racional remar em turnos no lugar de remar juntos, já que no segundo caso a velocidade do barco não dobrava... O primeiro dia foi um sucesso completo... Nunca me esquecerei da visão de um golfinho visto através de uma onda iluminada pelo sol se escondendo no horizonte.



**Figura 74** Instantâneos de George Gamow e de sua esposa, Liubov Vokhminzeva, e uma imagem dos Gamow quando se preparavam para sua fracassada tentativa de fugir da União Soviética remando através do mar Negro num caiaque.

Mas depois de 36 horas a sorte mudou. O tempo voltou-se contra eles e ambos foram forçados a remar de volta para o coração da União Soviética.

Gamow fez outra tentativa infrutífera, dessa vez através das águas do Ártico, de Murmansk para a Noruega. Então, em 1933, ele adotou uma nova estratégia. Tendo sido convidado para a Conferência Solvay, de físicos, em Bruxelas, Gamow conseguiu arranjar um encontro com o alto membro do Politburo, Viatcheslav Molotov, buscando permissão especial para que sua esposa, também física, o acompanhasse. Ele obteve os documentos necessários, mas somente depois de uma longa batalha burocrática. O casal foi

para a conferência sem nenhuma intenção de voltar para a União Soviética. No devido tempo, eles se mudaram da Europa para os Estados Unidos, e, em 1934, Gamow entrou para a Universidade George Washington, onde passou as duas décadas seguintes testando e defendendo a hipótese do Big Bang.

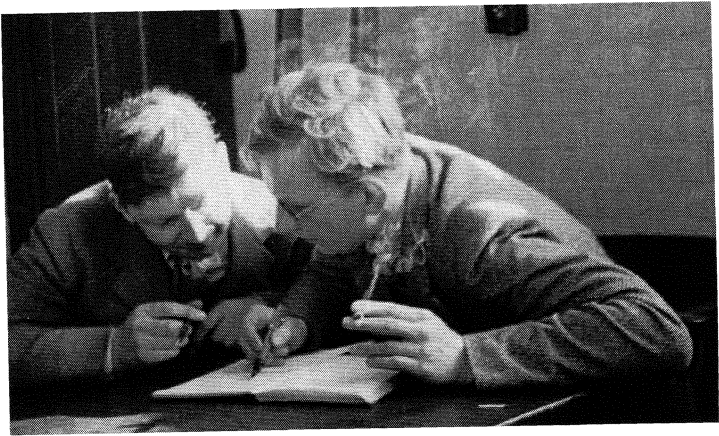
Em especial, Gamow estava interessado no Big Bang em relação à *nucleossíntese* — a formação dos núcleos atômicos. Gamow queria ver se a física nuclear e o Big Bang podiam explicar a profusão atômica observada. Como vimos, para cada 10 mil átomos de hidrogênio no universo existem, aproximadamente, mil átomos de hélio, seis átomos de oxigênio e um átomo de carbono. E todos os átomos de todos os outros elementos reunidos são ainda menos numerosos que os átomos de carbono. Gamow se perguntava se os momentos iniciais do Big Bang poderiam ser responsáveis pelo fato de nosso universo ser dominado pelo hidrogênio e o hélio. E ele também se indagava se o Big Bang poderia explicar as várias proporções de átomos pesados, que são relativamente raros e no entanto tão vitais para a vida.

Antes de examinar a pesquisa de Gamow, vamos relembra a visão de Lemaître da nucleossíntese. Seu universo começava com um único átomo primordial, supermaciço, a mãe de todos os átomos: “Esse mundo-átomo se fragmentou, cada fragmento dividindo-se em partes ainda menores. Supondo, por razões de simplicidade, que tal fragmentação ocorreu em partes iguais, vamos descobrir que 260 fragmentações sucessivas foram necessárias para chegarmos à atual pulverização da matéria, em pequeninos átomos, que são quase pequenos demais para se fragmentarem ainda mais”. Com base no princípio estabelecido de que os núcleos grandes são instáveis, o átomo supermaciço seria altamente instável e de fato se dividiria em átomos menores. Contudo, os fragmentos iriam, ao que tudo indica, cair no meio da tabela periódica, que é onde encontramos os elementos mais estáveis. Isso levaria a um universo dominado por elementos como o ferro. No modelo de Lemaître, parecia não haver meio de criar átomos de hidrogênio e hélio tão abundantes no universo atual. Para Gamow, Lemaître estava totalmente errado.

Rejeitando a abordagem de cima para baixo de Lemaître, Gamow optou por uma estratégia de baixo para cima. O que aconteceria se o universo começasse como uma sopa compacta e densa de átomos de hidrogênio simples expandindo-se para fora? Será que o Big Bang poderia ter criado as

condições certas para o hidrogênio se fundir no hélio e nos outros átomos pesados? Isso parecia mais provável do que a idéia de Lemaître, porque começar com 100% de hidrogênio era uma maneira mais óbvia de explicar por que ele ainda correspondia a 90% de todos os átomos do universo atual.

Mas, antes de começar a especular na física nuclear do Big Bang, Gamow estudou o trabalho de Houtermans e Bethe para descobrir exatamente do que as estrelas eram capazes em termos de fundir o hidrogênio em átomos



**Figura 75** George Gamow discutindo um cálculo com John Cockcroft (à esquerda) que ganharia um Prêmio Nobel por suas contribuições para a física nuclear. As imagens captam a intensidade e alegria dos físicos no seu trabalho.

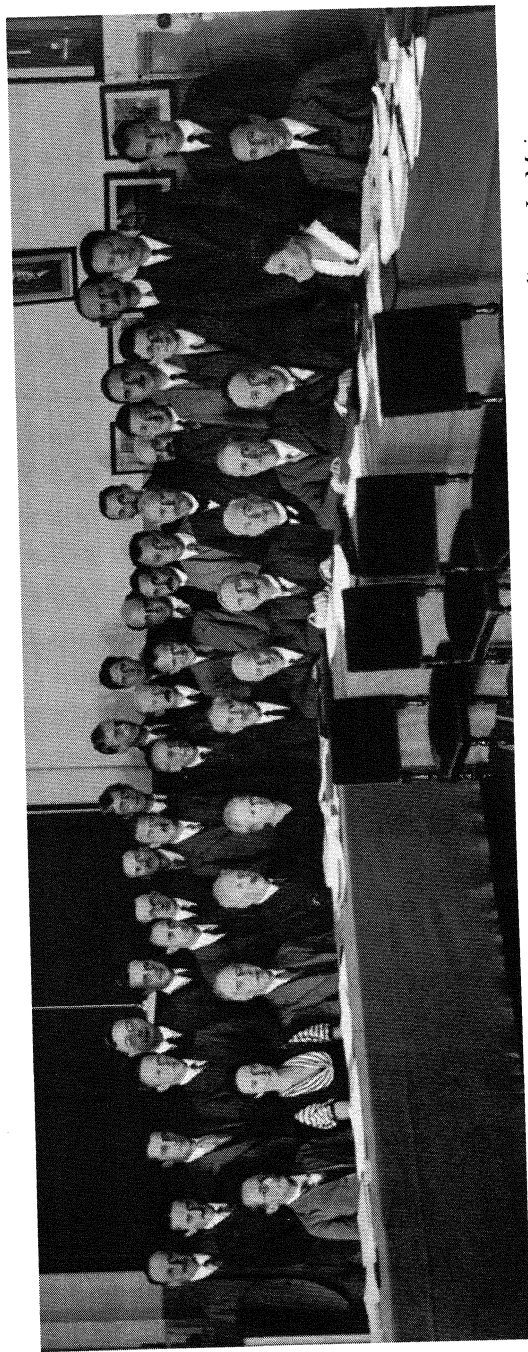
pesados. Ficou impressionado com duas limitações-chave da fusão estelar. Primeiro, a taxa de produção de hélio estelar era muito baixa. Nosso Sol cria  $5,8 \times 10^8$  toneladas de hélio a cada segundo, o que pode parecer um bocado, mas o Sol atualmente contém  $5 \times 10^{26}$  toneladas de hélio. Pela taxa de produção estelar de hélio, levaria 27 bilhões de anos para fazer essa quantidade de hélio, e no entanto se supunha que o universo tinha apenas 1,8 bilhão de anos de idade, de acordo com o modelo do Big Bang. Gamow portanto concluiu que a maioria do hélio já devia estar presente quando o Sol estava sendo formado, assim talvez tivesse sido criado no Big Bang.

As outras limitações da fusão estelar eram sua aparente incapacidade de criar átomos de elementos muito mais pesados do que o hélio. Os físicos não haviam conseguido encontrar nenhuma rota viável para a criação de elementos pesados como o ferro ou o ouro nas estrelas. As estrelas pareciam um beco sem saída em termos de criar qualquer coisa exceto os átomos mais leves.

Gamow pegou essas duas limitações como oportunidades para provar o modelo do Big Bang, suprindo as incapacidades estelares. Onde as estrelas não conseguiam criar hélio suficiente, ou qualquer elemento pesado, talvez o Big Bang conseguisse. Em especial, ele esperava que as condições no universo inicial fossem extremas o bastante para permitir novos tipos de reação nuclear, abrindo novos caminhos que não fossem possíveis nas estrelas, o que então explicaria a criação de todos os elementos. Se Gamow pudesse ligar o Big Bang à síntese nuclear dos elementos pesados, essa seria uma forte evidência a favor do modelo do Big Bang. Se não pudesse, essa ambiciosa teoria da criação enfrentaria um grande embaraço.

Era o início da década de 1940 quando Gamow se aventurou em seu projeto de pesquisa para explicar a criação dos elementos no rastro do Big Bang. Ele logo percebeu que era o único físico dos Estados Unidos que explorava a questão da nucleossíntese no Big Bang e não demorou a descobrir por que tinha o privilégio de dominar todo aquele campo. Trabalhar na formação dos núcleos exigia um profundo entendimento da física nuclear, e quase todos com esse tipo de conhecimento haviam sido recrutados secretamente para trabalhar no Projeto Manhattan em Los Alamos, projetando e construindo as primeiras bombas atômicas. O único motivo de





*Fileira da  
frente* {

E. Schrödinger   I. Joliot   A. Joffe   P. Langevin   E. Rutherford   M. De Broglie   L. Meitner  
N. Bohr   M. Curie   O. Richardson   T. De Donder   L. De Broglie   J. Chadwick

**Figura 76** Esta foto de grupo da Conferência Solvay de 1933, em Bruxelas, inclui George Gamow (na fileira de trás, centro), que conseguiu fugir da União Soviética ao participar do evento. O objetivo da conferência era debater a estrutura dos átomos, assim a foto inclui muitas outras figuras notáveis. Ernest Rutherford e James Chadwick estão sentados na fileira da frente, junto com Marie Curie e sua filha Irène Joliot, que ganhou um Prêmio Nobel, como sua mãe.

Pierre Curie morreu muitos anos antes ao ser atingido por uma carruagem em 1906. Marie então iniciou um relacionamento com Paul Langevin, que está ao lado dela na foto. Langevin ainda era casado, o que provocou um escândalo. Quando Curie recebeu a notícia de seu segundo Prêmio Nobel, pediram-lhe que não fosse a Estocolmo recebê-lo pessoalmente devido ao embarço que isso poderia causar ao Comitê Nobel. Ela ignorou o pedido, explicando que o prêmio, presumivelmente, era uma recompensa por sua ciência e não por sua vida pessoal.

Gamow não ter sido transferido da Universidade George Washington é que ele não fora considerado digno do mais alto grau de segurança, porque já fora um oficial comissionado do Exército Vermelho. Os responsáveis pela classificação de segurança não perceberam que Gamow recebera o posto de oficial apenas para poder ensinar ciência aos soldados. E nem as autoridades americanas perceberam os sinais mais óbvios da lealdade de Gamow, como o fato de que os soviéticos o tinham condenado à morte a revelia por sua fuga da União Soviética.

A estratégia de Gamow para explorar a síntese nuclear no Big Bang era superficialmente simples. Começava com observações do universo como ele é agora. Os astrônomos tinham examinado a distribuição de estrelas e galáxias, assim podiam estimar a densidade da matéria através do cosmos, que é aproximadamente um grama por mil volumes terrestres. Em seguida, Gamow pegou as medições de Hubble da expansão do universo e fez o relógio andar para trás, de modo que o universo estivesse se contraindo. O universo em contração de Gamow se tornaria cada vez mais denso, à medida que se aproximasse do momento da criação, e ele poderia usar uma matemática relativamente simples para determinar a densidade média em qualquer momento do passado. A compressão de material costuma gerar calor, motivo pelo qual uma bomba de encher pneu de bicicleta parece quente depois de alguns golpes. Daí Gamow podia usar uma física relativamente simples para mostrar que um universo jovem e comprimido teria sido muito mais quente do que o universo atual. Em resumo, Gamow descobriu que poderia facilmente determinar a temperatura e a densidade do universo em qualquer ponto do tempo logo depois de sua criação (quente e denso) até a época atual (fria e dispersa).

Estabelecer as condições predominantes no universo primordial era um fator crítico, porque o resultado de qualquer reação nuclear depende quase inteiramente da densidade e da temperatura. A densidade determina o número de átomos em um dado volume e, quanto mais alta a densidade, maior a probabilidade de dois átomos colidirem e se fundirem. E, à medida que a temperatura aumenta, existe mais energia disponível para os átomos se moverem rapidamente, o que significa que seus núcleos têm mais probabilidade de se fundirem. E os astrofísicos só puderam determinar que reações nucleares ocorriam dentro das estrelas porque conheciam a temperatura e a

densidade dentro do Sol. Gamow, com informações semelhantes sobre o universo primordial, esperava poder determinar que reações nucleares aconteceram logo depois do Big Bang.

O primeiro passo na pesquisa de Gamow para modelar a nucleossíntese no Big Bang era presumir que o calor extremo no início do universo teria decomposto toda a matéria até sua forma mais elementar. Assim, ele considerou que os componentes iniciais do universo teriam sido prótons, nêutrons e elétrons separados, as partículas mais fundamentais conhecidas pelos físicos daquela época. Chamou essa mistura de *ylem* (pronuncia-se “ailem”), uma palavra que ele encontrou no dicionário *Webster*. Esta palavra inglesa obsoleta significa “a substância primordial da qual todos os elementos se formaram” — uma descrição perfeita para a sopa quente de nêutrons, prótons e elétrons de Gamow. Um único próton equivale a um núcleo do hidrogênio, e com a adição de um elétron ele se torna um átomo de hidrogênio completo. Todavia, o universo primordial era tão quente e tão cheio de energia que os elétrons estavam se movendo muito rapidamente para se ligarem a qualquer núcleo. Além das partículas de matéria, o universo primordial continha um turbulento mar de luz.

A partir dessa sopa quente e densa, Gamow queria avançar o relógio, segundo a segundo, e calcular como as partículas fundamentais começariam a se ligar e formar os átomos dos elementos familiares que conhecemos hoje em dia. E, finalmente, sua ambição era mostrar como esses átomos se aglutinariam para formar estrelas e galáxias, evoluindo para o universo que vemos ao nosso redor. Em resumo, Gamow queria provar que o modelo do Big Bang poderia explicar como chegamos aonde estamos hoje.

Infelizmente, assim que começou a calcular as reações nucleares que poderiam acontecer, Gamow tomou consciência da magnitude da tarefa gigantesca que se encontrava à sua frente. Ele poderia ter dominado o cálculo de reações nucleares acontecendo sob um conjunto específico de condições, mas o problema com o cenário do Big Bang era que ele evoluía constantemente. Em certo momento, haveria uma densidade, uma temperatura específica e uma mistura de partículas, mas um segundo depois o universo teria se expandido, resultando em uma temperatura mais baixa, uma densidade menor e um conjunto levemente diferente de partículas, dependendo das

reações nucleares que já pudessem estar ocorrendo. Gamow lutou com os cálculos nucleares, mas fez muito pouco progresso. Ele era um grande físico, mas um matemático fraco, e os cálculos nucleares estavam além de sua capacidade. Aquela também era uma época em que os computadores efetivamente não existiam e não poderiam ajudá-lo.

Por fim, em 1945, Gamow recebeu o apoio de que tanto necessitava quando apadrinhou um jovem estudante chamado Ralph Alpher, que lutava para se estabelecer na comunidade científica. A carreira acadêmica de Alpher tinha começado de modo promissor em 1937, quando ele era um prodígio de 16 anos de idade e recebeu uma bolsa de estudos no Instituto de Tecnologia de Massachusetts. Por azar, enquanto conversava com um dos alunos do instituto, ele mencionou que sua família era judia e a bolsa foi retirada imediatamente. Foi um choque terrível para o jovem aspirante: “Meu irmão tinha me falado para não alimentar grandes esperanças, e ele estava certo. Foi uma experiência terrível. Ele disse que era fantasia achar que um judeu poderia chegar a algum lugar naquela época”.

O único modo de Alpher voltar a sua carreira acadêmica era arrumar um emprego de dia e estudar à noite na Universidade George Washington, onde ele finalmente conseguiu seu grau de bacharel. Foi nessa época que Gamow encontrou Alpher e simpatizou com ele, possivelmente porque o pai de Alpher era de Odessa, a cidade onde nascera. Gamow reconheceu que Alpher era talentoso em matemática e tinha uma boa percepção dos detalhes, o que contrastava com suas limitações matemáticas e sua atitude impetuosa. Imediatamente ele acolheu Alpher como seu aluno de doutorado.

Gamow incumbiu Alpher de trabalhar no problema de nucleossíntese no universo primordial, dando ao aluno um ponto de partida e um esboço das questões-chave, com base no que ele já tinha aprendido. Por exemplo, Gamow mostrou que a síntese nuclear no Big Bang estaria confinada a uma janela relativamente curta de tempo e temperatura. O universo mais primordial era tão quente e tão energético que os prótons e os nêutrons se deslocavam rápido demais para se grudar. Um pouco depois o universo já era frio o suficiente para a nucleossíntese começar. Contudo, depois de decorrido mais algum tempo, a temperatura do universo teria caído ao ponto em que prótons e nêutrons não teriam mais a energia ou a velocidade para iniciar as reações nucleares.

Em resumo, a nucleossíntese aconteceria apenas quando o universo fosse mais frio do que trilhões de graus e mais quente do que milhões de graus.

Outra restrição na janela da síntese nuclear era o fato de que nêutrons são instáveis e se transformam em prótons, a menos que estejam presos dentro de um núcleo como o de hélio. Daí que os nêutrons do universo primordial teriam que formar núcleos antes de desaparecerem. Os nêutrons livres têm uma chamada meia-vida de aproximadamente dez minutos, o que significa que metade deles desaparece em dez minutos, metade dos remanescentes desaparece em outros dez minutos, e assim por diante. Daí que menos de 2% dos nêutrons originais teriam restado uma hora após o momento da criação, a menos que já tivessem interagido com prótons para formar núcleos estáveis. Por outro lado, existe uma reação nuclear dependente da temperatura que pode criar nêutrons, o que complica ainda mais a situação. E, como os nêutrons são um ingrediente vital na nucleossíntese, ambos, a meia-vida dos nêutrons e a taxa de criação de nêutrons, eram fatores críticos para determinar a quantidade de tempo durante a qual a síntese de núcleos poderia acontecer depois do Big Bang.

Concentrando-se nessa complexa janela de tempo para a nucleossíntese, Gamow e Alpher começaram a estimar a probabilidade dos prótons e os nêutrons reagirem. Um dos elementos necessários em seus cálculos e outro fator de complicação era a *seção transversal* dos nêutrons e prótons. A seção transversal de uma partícula é uma indicação do tamanho do alvo que ela apresenta para outras partículas. Se duas pessoas ficarem em lados opostos de uma sala e jogarem pedrinhas uma na outra, é bem improvável que duas pedrinhas se choquem no ar, uma contra a outra. Mas, se elas jogarem bolas de futebol, haverá uma probabilidade muito maior de duas bolas colidirem, ou pelo menos resvalarem uma sobre outra, porque as bolas de futebol têm uma seção transversal maior do que as pedrinhas. A questão crítica em termos da síntese nuclear era esta: qual o tamanho da seção transversal ou do alvo que nêutrons e prótons apresentam um para o outro?

As seções transversais das partículas atômicas são medidas em *barns* e um barn equivale a  $10^{-28}$  metros quadrados. O nome foi uma ironia extraída de expressões como “ele não era capaz de acertar a porta de um celeiro”.\* Alguns

---

\**Barn*, em inglês, significa celeiro. (N. da E.)

etimologistas sugerem que o termo foi usado primeiramente como um código pelos físicos que trabalhavam no Projeto Manhattan, de modo que os espões que ouvissem referências a celeiros não conseguiriam saber o que significavam. O entendimento dessas seções transversais fora crucial para os construtores de bombas, que tentavam determinar o quanto de urânio teriam que juntar para produzir uma explosão nuclear. Quanto mais alta a seção transversal para as interações do urânio, maior a probabilidade de interações nucleares e menos urânio seria necessário para garantir a explosão atômica.

Foi importante para Alpher que o segredo em torno do projeto da bomba atômica declinasse nos anos imediatamente posteriores à guerra. Isso significava que valiosas medições de seção transversal estavam se tornando públicas, exatamente no momento em que ele se aventurava em sua pesquisa sobre a síntese de elementos no Big Bang. Outro impulso foi dado pelos cientistas do Laboratório Nacional Argonne, que estavam explorando a possibilidade de construir uma usina de energia nuclear. Alpher ficou encantado quando eles também liberaram seus últimos dados sobre seções transversais nucleares.

Gamow e Alpher passaram três anos trabalhando em seus cálculos, questionando suas suposições, atualizando suas seções transversais e aprimorando suas estimativas. Algumas das suas conversas mais profundas aconteceram no Little Vienna, um bar na avenida Pennsylvania, onde um ou dois drinques os ajudavam a materializar o universo primordial. Foi uma aventura extraordinária. Eles estavam aplicando física concreta à teoria do Big Bang, antes vaga, tentando modelar matematicamente as condições e os eventos do universo primordial. Estimavam as condições iniciais e aplicavam as leis da física nuclear para ver como o universo evoluía com o tempo e como o processo da nucleossíntese progredia.

À medida que cada mês passava, Alpher ficou mais convencido de que poderia modelar com precisão a formação de hélio nos poucos minutos após o Big Bang. Sua confiança aumentou quando ele descobriu que seus cálculos estavam bem próximos da realidade. Alpher estimara que deveria haver aproximadamente um núcleo de hélio para cada dez núcleos de hidrogênio no final da fase de síntese nuclear do Big Bang, que era exatamente o que os astrônomos observavam no universo moderno. Em outras palavras, o Big

Bang poderia explicar a proporção de hidrogênio e hélio que vemos hoje em dia. Alpher ainda não tentara, seriamente, modelar a formação de outros elementos, mas mesmo a previsão da formação de hidrogênio e hélio nas proporções observadas já era em si uma conquista muito significativa. Afinal, esses dois elementos correspondem a 99,99% de todos os átomos no universo.

Vários anos antes os astrofísicos haviam conseguido mostrar que as estrelas se abasteciam de energia transformando o hidrogênio em hélio, mas a taxa das reações nucleares estelares era tão lenta que a nucleossíntese estelar só podia ser responsabilizada por uma pequena fração do hélio que se sabia existir. Alpher contudo podia explicar a abundância de hélio ao presumir que houvera um Big Bang. Esse resultado era o primeiro grande triunfo para o modelo do Big Bang desde que Hubble observara e medira os desvios para o vermelho das galáxias.

Ávidos em anunciar suas descobertas, Gamow e Alpher colocaram seus cálculos e conclusões num trabalho formal intitulado “A origem dos elementos químicos”, e o submeteram à apreciação da revista *Physical Review*. A publicação do artigo estava marcada para 1º de abril de 1948, e talvez tenha sido isso que levou Gamow a fazer algo em que vinha pensando havia meses. Gamow era muito amigo de Hans Bethe, famoso pelo trabalho nas reações nucleares estelares, e ele queria acrescentar o nome de Bethe à lista de autores, ainda que Bethe não tivesse contribuído em nada para aquele trabalho específico. Sua motivação para acrescentar o nome extra era que os leitores poderiam apreciar um artigo da autoria de Alpher, Bethe e Gamow, uma brincadeira com as letras do alfabeto grego, alfa ( $\alpha$ ), beta ( $\beta$ ) e gama ( $\gamma$ ).

Não surpreende que Alpher não tenha gostado da idéia. Ele temia que dar crédito a Bethe diminuiria a consideração do resto do mundo pela sua contribuição à pesquisa. O nome da Alpher já estava na sombra da co-autoria de Gamow, porque Alpher era um jovem aluno de doutorado e Gamow, um físico famoso. E acrescentar o nome ainda mais conhecido de Bethe tornaria as coisas piores para ele. Alpher fizera uma parte razoável do trabalho, e agora parecia que ia receber apenas uma pequena fração do crédito. Durante essa disputa autoral entre Gamow e Alpher, Bethe permaneceu alheio aos sentimentos de Alpher e não tinha idéia de que este seria um dos traba-

lhos mais importantes da história da cosmologia. Estava simplesmente contente em tomar parte em uma das brincadeiras de Gamow.

Assim que o trabalho foi enviado para publicação, ainda com o nome de Bethe, Gamow tentou fazer as pazes com seu aluno organizando uma pequena celebração para marcar sua grande conquista. Gamow trouxe uma garrafa de Cointreau para o escritório com o rótulo alterado com a palavra “Ylem”, seu termo para a sopa primordial de partículas que primeiro preencheria o universo. Derramar o licor laranja num par de copos tornou-se uma recreação divertida do Big Bang.

Embora Gamow agora pudesse relaxar um pouco, Alpher ainda tinha muito trabalho pela frente. Sua pesquisa era seu projeto de doutorado, assim ele tinha que escrevê-la de modo independente e explicá-la em detalhes minuciosos para mostrar seu valor como tese. Por azar, ele foi afetado por uma grave crise de caxumba assim que começou a escrever a tese. Inchado e com dores, Alpher teve que terminar o trabalho na cama, ditando-o para a esposa Louise. O casal se conhecera quando ambos estudavam à noite na Universidade George Washington, mas Louise estudava psicologia, não física, assim ela estava perplexa com a pesquisa de Alpher. Não obstante, datilografou com precisão as confusas equações que formavam o núcleo da tese dele.

Mas o trabalho de Alpher ainda não estava completo. Em seguida, ele teria que passar pelo teste da defesa da tese, a prova final na jornada para conseguir seu doutorado. Teria que ficar sozinho, diante de um painel de especialistas, e convencê-los de que o hidrogênio e o hélio poderiam ter sido criados nas proporções corretas nos momentos depois do Big Bang. Também queria argumentar que havia uma probabilidade razoável de outros átomos terem sido criados durante essa fase. Essencialmente, ele ia defender os resultados de sua colaboração com Gamow, mas contando apenas com seu talento, incapaz de se voltar para seu mentor pedindo ajuda. Se tivesse sucesso, teria seu doutorado. Se fracassasse, teria desperdiçado três anos. Sua defesa de tese estava marcada para a primavera de 1948.

Essas defesas de tese freqüentemente são espetáculos abertos ao público, mas não são consideradas um evento com apelo para as massas. Assim, o público costuma ser formado por amigos, familiares próximos e alguns acadêmicos com um interesse especial no assunto. Nesse caso, contudo, a notí-



“Cinco minutos, hem?”

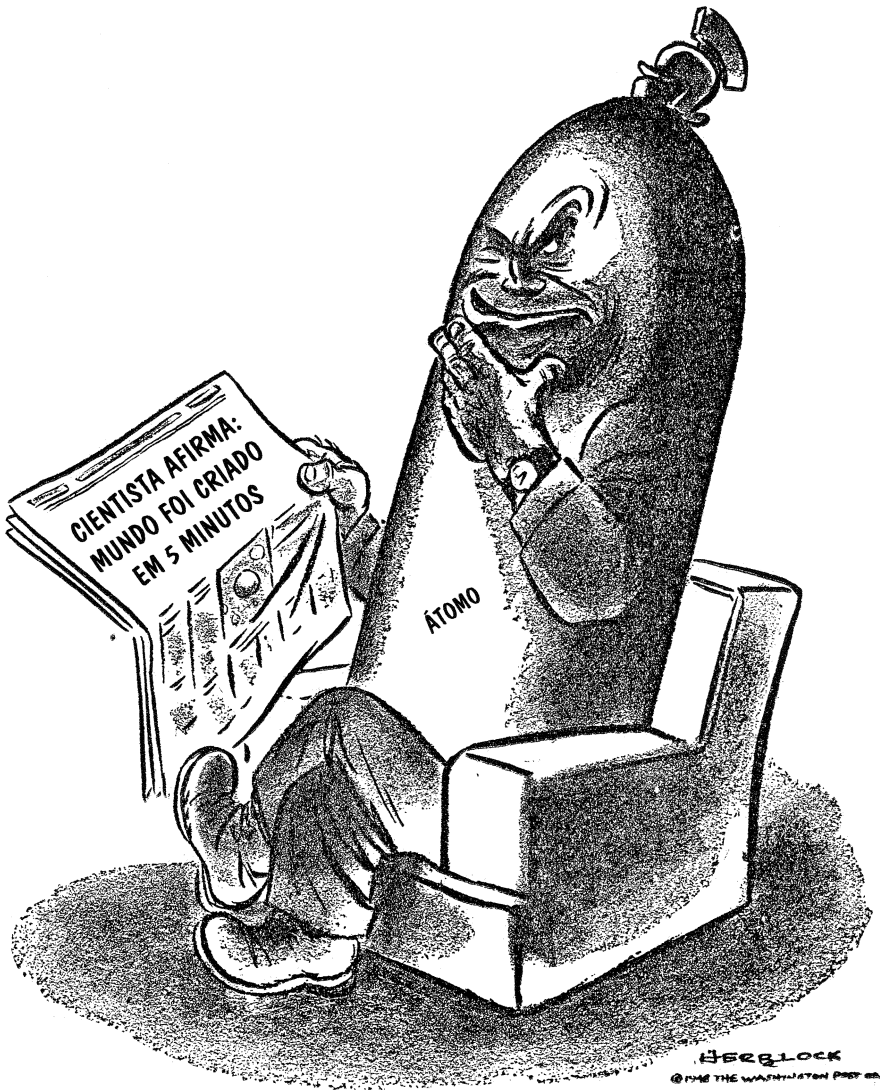


Figura 77 O famoso cartunista Herbert L. Block (“Herblock”) demonstrou interesse pela pesquisa de Alpher. Esta caricatura, publicada no *Washington Post* de 16 de abril de 1948, mostra uma bomba atômica meditando sobre a notícia de que o mundo fora criado em cinco minutos. A bomba parece estar tendo a idéia perversa de que poderia destruir o mundo em apenas cinco minutos.

cia de que um rapaz de 27 anos fizera uma grande descoberta espalhara-se por Washington, e Alpher se viu defendendo suas idéias diante de um auditório lotado por trezentas pessoas, incluindo jornalistas. Eles ouviram com atenção a série de perguntas obscuras e as respostas ainda mais enigmáticas. No final da defesa, a banca examinadora estava convencida o bastante para dar a Alpher o seu doutorado.

Enquanto isso, os jornalistas tinham dado destaque a um dos comentários de Alpher — o de que a nucleossíntese primordial do hidrogênio e do hélio tinha levado apenas trezentos segundos. E foi isso que virou manchete dos jornais em todos os Estados Unidos nos dias posteriores. Em 14 de abril de 1948, o *Washington Post* anunciou O MUNDO COMEÇOU EM CINCO MINUTOS, o que então inspirou a caricatura no mesmo jornal, dois dias depois, mostrada na figura 77. No dia 26 de abril, a *Newsweek* publicou a mesma história, mas estendeu a escala de tempo para abranger a criação de outras variedades de átomos: “De acordo com essa teoria, todos os elementos foram criados a partir de um fluido primordial em uma única hora, e vem se combinando no material das estrelas, planetas e da vida desde então”. De fato, Alpher dissera muito pouco sobre elementos mais pesados do que hidrogênio e hélio.

Nas semanas seguintes, Alpher desfrutou de um certo grau de fama. Acadêmicos mostravam interesse pelo seu trabalho, um público curioso enviava-lhe correspondência de fã e fundamentalistas religiosos rezaram por sua alma. Mas a novidade logo acabou, e, como tinha previsto, Alpher ficou perdido na sombra de seus ilustres co-autores, Gamow e Bethe. Quando os físicos leram o trabalho, eles presumiram que Gamow e Bethe eram os responsáveis pela descoberta, e o nome de Alpher foi desprezado. A adição espúria do nome de Bethe para criar um efeito cômico extinguiu qualquer possibilidade de que Alpher viesse a receber o reconhecimento merecido por seu papel crucial no desenvolvimento do modelo do Big Bang.

## **As curvas divinas da criação**

O trabalho Alfa-Beta-Gama, como ficou conhecido, foi um marco no debate Big Bang *versus* universo eterno. Mostrou que era possível fazer cálculos

reais em relação aos processos nucleares que poderiam ter acontecido depois do Big Bang hipotético e assim testar essa teoria da criação. Os defensores do Big Bang podiam agora apontar para duas peças da evidência observacional, a expansão do universo e a abundância de hidrogênio e hélio, mostrando que eram inteiramente compatíveis com o modelo de universo do Big Bang.

Os críticos da teoria do Big Bang contra-atacaram, tentando minar o suposto sucesso da nucleossíntese do Big Bang. Sua primeira reação foi considerar a correspondência entre os cálculos de Gamow e Alpher e a observada abundância de hélio como uma mera coincidência. Uma segunda crítica, mais substancial, foi dirigida à incapacidade de Gamow e Alpher de explicar a criação de núcleos mais pesados do que hidrogênio e hélio.

Gamow e Alpher tinham deixado de lado esse problema, no seu trabalho publicado, pensando em abordá-lo mais tarde, mas de fato logo perceberam que sua pesquisa tinha chegado a um beco sem saída: tentar sintetizar qualquer núcleo mais pesado do que o hélio no calor do Big Bang parecia quase impossível.

Sua maior dificuldade era a chamada fenda dos cinco núcleons. Um *núcleon* é o termo genérico para qualquer componente do núcleo, o que significa que abrange prótons e nêutrons. Assim:

o hidrogênio comum contém 1 próton	+ 0 nêutron	= 1 núcleon
o hidrogênio deutério contém 1 próton	+ 1 nêutron	= 2 núcleons
o hidrogênio trítio contém 1 próton	+ 2 nêutrons	= 3 núcleons
o hélio comum contém 2 prótons	+ 2 nêutrons	= 4 núcleons

O núcleo mais pesado seguinte deveria conter cinco núcleons, mas tal núcleo não pode existir devido a sua inerente instabilidade, resultado do modo complexo como as forças nucleares interagem. Contudo, além do núcleo instável de cinco núcleons, existe toda uma série de núcleos estáveis, tais como o carbono (geralmente 12 núcleons), o oxigênio (geralmente 16 núcleons) e o potássio (39 núcleons).

Para se ter uma noção da razão por que o número de núcleons determina a estabilidade e a existência de certos núcleos (e a instabilidade e a não-

existência de outros), podemos considerar a situação dos veículos e sua estabilidade em relação a seu número de rodas. Existem monociclos de uma roda, assim como bicicletas de duas rodas, triciclos de três rodas e carros com quatro rodas. Mas veículos de cinco rodas quase não existem, porque uma quinta roda seria inútil e poderia prejudicar a estabilidade e o desempenho do veículo. Contudo, mais uma roda aumenta o equilíbrio e distribui a carga do veículo, e de fato muitos caminhões têm seis ou mais rodas. De modo semelhante, mas por razões diferentes, núcleos com um núcleon, dois núcleons, três núcleons, quatro núcleons e seis núcleons são todos estáveis, mas um núcleo com cinco núcleons é efetivamente proibido.

Mas por que a ausência de um núcleo com cinco núcleons era tão desastrosa para Gamow e Alpher? Parecia um fosso intransponível na estrada da nucleossíntese que levava a núcleos mais pesados como o carbono e acima. O caminho para a transformação que converte núcleos leves em pesados contém um ou mais passos intermediários, e se um deles for bloqueado, todo o processo é interrompido. O caminho mais óbvio em direção aos núcleos mais pesados seria começar acrescentando um próton ou um nêutron a um núcleo de hélio (quatro núcleons) para criar um núcleo com cinco núcleons — mas este era exatamente o tipo de núcleo não permitido. Portanto, a trilha para os núcleos mais pesados estava bloqueada.

Uma solução seria um núcleo de hélio absorver simultaneamente um nêutron e um próton, passando por cima do núcleo de cinco núcleons instável e se transformando diretamente num núcleo estável de lítio com seis núcleons (três prótons e três nêutrons). Contudo, as chances de um próton e de um nêutron atingirem simultaneamente um núcleo de hélio do modo perfeito eram muito pequenas. As reações nucleares são difíceis de induzir, assim era demais esperar que duas colisões acontecessem precisamente ao mesmo tempo.

Outro modo de pular o fosso dos cinco núcleons seria dois núcleos de hélio de quatro núcleons se fundirem e criarem um núcleo com oito núcleons, mas este núcleo também seria inerentemente instável pelas mesmas razões que um núcleo de cinco núcleons é instável. A natureza tinha conseguido bloquear os dois caminhos mais óbvios pelos quais os núcleos leves poderiam se transformar nos mais pesados.

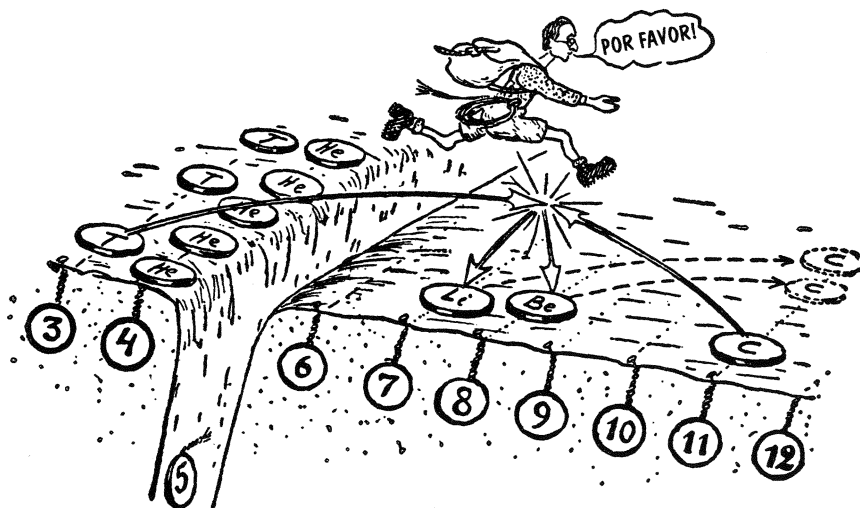


Figura 78 O físico Eugene Wigner, nascido na Hungria, tentou, sem sucesso, encontrar rotas alternativas para passar do hélio por sobre a fenda dos cinco núcleons e chegar ao carbono e além. George Gamow desenhou esta caricatura para ilustrar um dos caminhos fracassados de Wigner. A legenda de Gamow explica: “Outro método engenhoso de cruzar a fenda de massa 5 foi proposto por E. Wigner. É conhecido como método da ponte nuclear”.

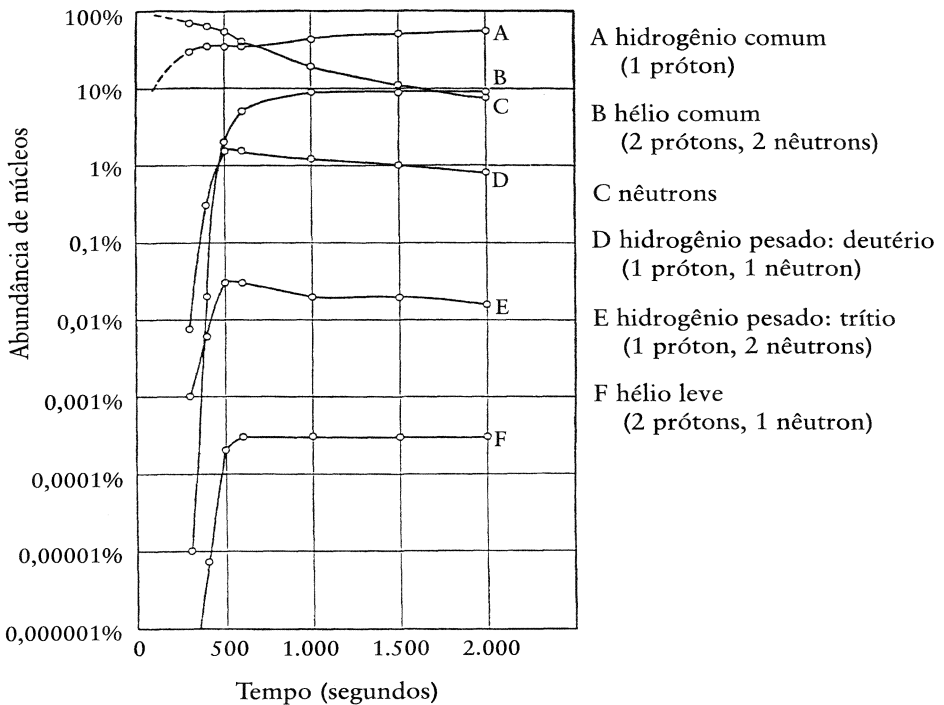
Gamow e Alpher insistiram. Eles aperfeiçoaram seus cálculos usando os dados mais recentes sobre o tempo de vida dos nêutrons e suas seções transversais. No trabalho original, seus cálculos tinham contado com nada mais do que uma calculadora elétrica de mesa Marchant & Friden, mas agora eles traziam os mais recentes avanços da computação para lidar com os problemas. Eles conseguiram um computador analógico Reeves, que aperfeiçoaram transformando-o num computador com tambor magnético de armazenagem. Depois investiram numa calculadora IBM programável de cartões perfurados e finalmente usaram um dos primeiros computadores digitais, um Seac.

A boa notícia era que suas estimativas da abundância de hidrogênio e hélio permaneciam precisas. Mesmo os cálculos independentes de seus rivais acadêmicos, mostrados na figura 79, confirmavam que as quantidades relativas de hidrogênio e hélio, criadas no universo primordial, correspondiam aproximadamente às proporções observadas no universo atual. A má notícia era que os cálculos aprimorados ainda não revelavam nenhum indício de um mecanismo para resolver o problema de criar núcleos mais pesados do que o hélio.

Enquanto a nucleossíntese dos átomos pesados enfrentava problemas, Alpher começou a trabalhar em outro aspecto do Big Bang, junto com um colega chamado Robert Herman. Alpher e Herman tinham muito em comum. Ambos eram filhos de judeus russos emigrados que tinham se instalado em Nova York, e ambos ainda eram jovens pesquisadores tentando ser reconhecidos. Quando Herman ouviu trechos das conversas cosmológicas entre Alpher e Gamow, não resistiu à idéia de se envolver naquela pesquisa. A idéia de fazer cálculos relacionados com os momentos iniciais da criação do universo era tentadora demais.

Alpher e Herman iniciaram sua colaboração reexaminando a história inicial do universo de acordo com o modelo do Big Bang. A primeira fase era puro caos, com muita energia para permitir qualquer evolução significativa da matéria. Os próximos minutos eram a era crítica — nem muito quente, nem muito frio, apenas a temperatura certa para formar o hélio e outros núcleos leves. Este era o período que fora estudado no trabalho Alfa-Beta-Gama. Daí em diante o universo estava frio demais para qualquer fusão, e, de qualquer modo, o núcleo instável de cinco núcleons parecia bloquear o caminho para a construção de núcleos mais pesados.

Embora fosse então muito frio para a fusão, o universo tinha uma temperatura de aproximadamente 1 milhão de graus, o que resultava na matéria existindo em um estado conhecido como *plasma*. O primeiro e mais frio estado da matéria é o sólido, no qual os átomos e as moléculas estão firmemente unidos, como no gelo. O segundo estado, mais quente, é o líquido, no qual os átomos ou moléculas estão unidos frouxamente, permitindo um movimento fluido, como na água. O terceiro estado, ainda mais quente, é o gasoso, no qual os átomos e as moléculas não têm praticamente ligação entre



**Figura 79** Os físicos nucleares Enrico Fermi e Anthony Turkevitch também calcularam a abundância dos elementos no universo primordial. Seus resultados concordam com Gamow e Alpher e são mostrados neste gráfico, que ilustra a evolução química do universo durante os primeiros 2 mil segundos.

O número de nêutrons diminui continuamente à medida que se transformam em prótons, motivo por que o número de prótons (equivalente a núcleos de hidrogênio) aumenta. Outra razão para o declínio de nêutrons é que eles são incorporados aos núcleos de hélio, e a abundância de hélio aumenta continuamente, fazendo dele o segundo núcleo mais abundante no universo. Os outros núcleos representados no gráfico são isótopos de hidrogênio e hélio criados na rota que vai do hidrogênio comum ao hélio comum.

Astrônomos mediram a abundância atual de deutério e trítio (isótopos pesados do hidrogênio), e essas medições eram compatíveis com as previsões feitas por Gamow, Alpher, Fermi e Turkevitch. Era mais um apoio ao modelo do Big Bang, que agora podia explicar a abundância dos núcleos mais leves do universo como resultado de reações nucleares que aconteceram durante o período quente e denso que se seguiu ao Big Bang. Gamow chamou as linhas deste gráfico de “as curvas divinas da criação”.

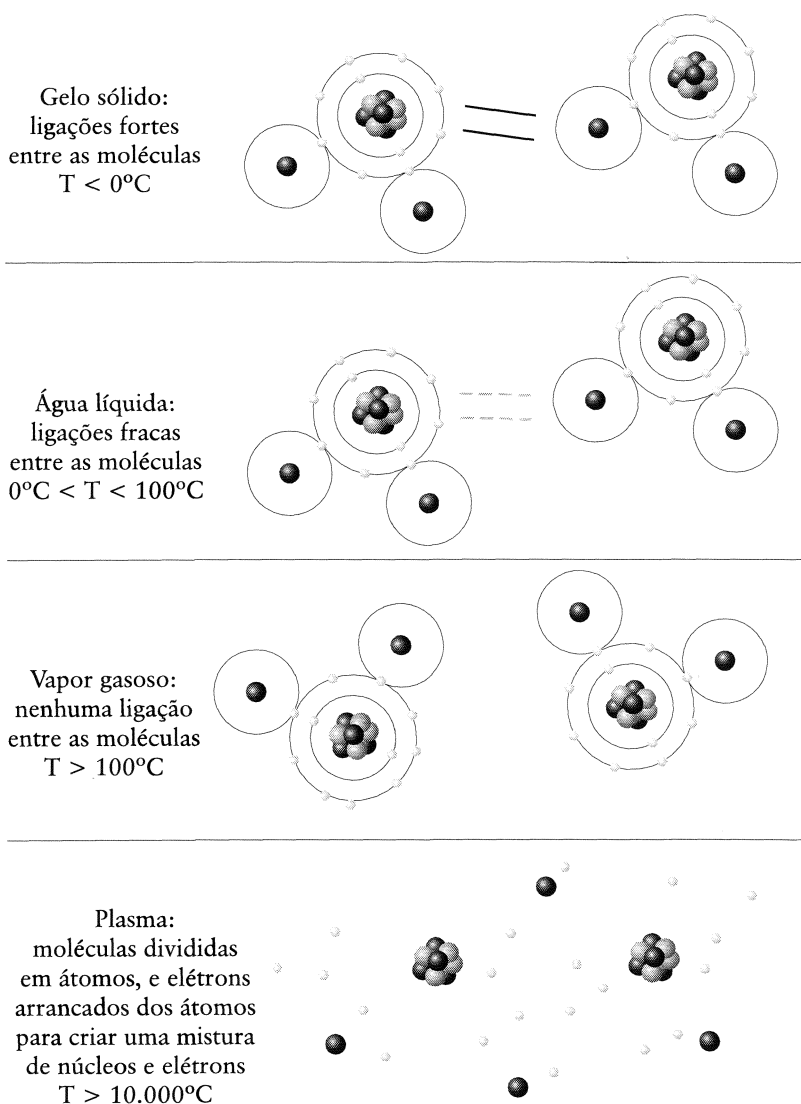
si e podem se mover de modo independente, como no vapor. No quarto estado da matéria, o plasma, a temperatura é tão alta que os núcleos atômicos não conseguem manter seus elétrons, de modo que a matéria é uma mistura de núcleos desligados e elétrons, como mostrado na figura 80. A maioria das pessoas não tem consciência do estado de plasma, ainda que muitos de nós produzamos plasmas todo dia ao acender uma lâmpada fluorescente, que transforma o gás em seu interior em plasma.

Assim, uma hora depois de sua criação, o universo ainda era uma sopa de plasma feita de núcleos simples e elétrons livres. Os elétrons, negativamente carregados, tentariam se ligar aos núcleos positivamente carregados, porque as cargas opostas se atraem, mas eles simplesmente estavam se movendo muito rápido para se instalar em órbitas em torno do núcleo. Em lugar de fazerem isso, os núcleos e os elétrons saltavam livres e o estado de plasma persistia.

O universo também continha mais um ingrediente — um onipresente mar de luz. Contudo, estar presente no nascimento do universo não seria uma experiência muito esclarecedora, porque seria impossível ver alguma coisa. A luz interage com facilidade com partículas carregadas, como os elétrons, de modo que a luz teria sido espalhada repetidamente das partículas para o plasma, resultando em um universo opaco. E, devido a esse espalhamento múltiplo, o plasma teria se comportado como uma neblina. É impossível ver o carro à sua frente, dentro de um nevoeiro, porque a luz do carro é espalhada incontáveis vezes pelas gotículas de água, e assim é redirecionada muitas vezes antes de alcançá-lo.

Alpher e Herman continuaram a desenvolver sua história primordial do universo e se perguntaram o que mais poderia acontecer a esse mar de luz e plasma à medida que o universo se expandia com o tempo. Perceberam que, conforme o universo se expandia, sua energia se tornaria dispersa por um volume maior, de modo que o universo e o plasma dentro dele ficariam cada vez mais frios. Os dois jovens físicos deduziram que haveria um momento crítico quando a temperatura se tornaria baixa demais para o plasma existir, e nesse ponto os elétrons se ligariam aos núcleos e formariam átomos neutros estáveis de hidrogênio e hélio. A transição de plasma para átomos acontece a aproximadamente 3 mil graus centígrados para o hidrogênio e o hélio,





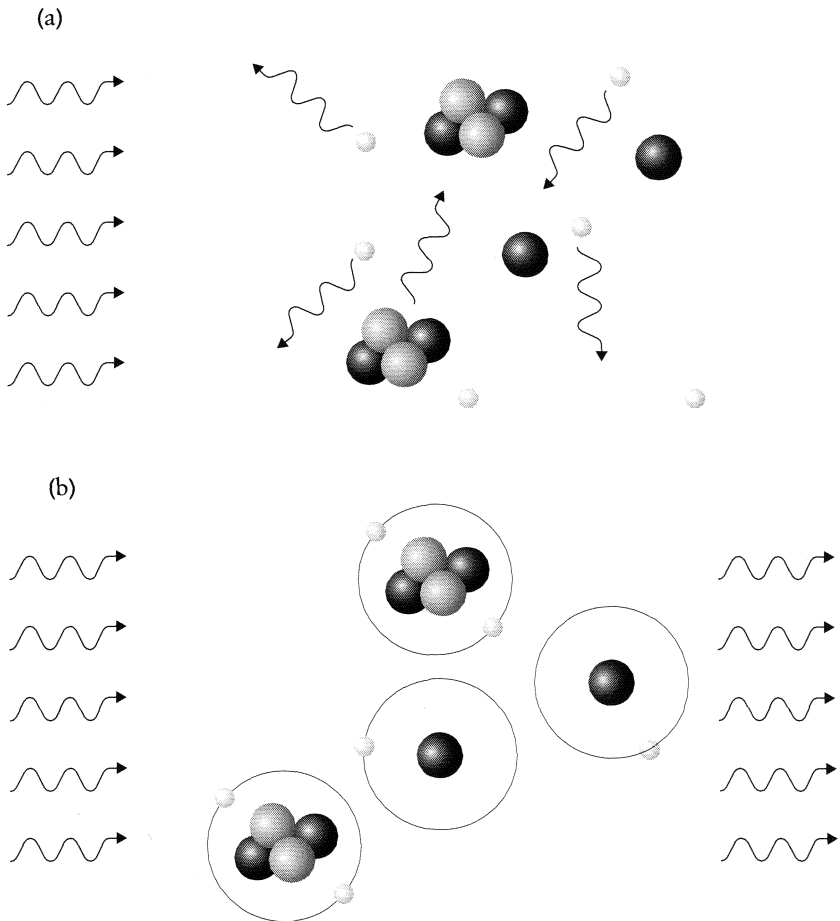
**Figura 80** Estes quatro diagramas representam os quatro estados da matéria, usando a água como exemplo. Água é  $\text{H}_2\text{O}$ , cada molécula consistindo em dois átomos de hidrogênio ligados a um átomo de oxigênio. Essas moléculas podem ser ligadas umas às outras para formar um sólido, mas a energia do calor pode enfraquecer as ligações para criar um líquido, ou pode parti-las para criar um gás. Mais energia calórica pode arrancar os elétrons dos núcleos para criar um plasma.

e os dois estimaram que levaria mais ou menos 300 mil anos para o universo esfriar até essa temperatura. Tal evento é geralmente conhecido como *recombinação* (termo um pouco confuso, porque implica que os elétrons e os núcleos estiveram combinados antes, o que não é o caso).

Depois da recombinação, o universo ficou cheio de partículas gasosas neutras, porque os elétrons negativamente carregados tinham se combinado com os núcleos positivamente carregados. Isso mudou drasticamente o comportamento da luz que enchia o universo. A luz interage facilmente com as partículas carregadas no plasma, mas não com as partículas neutras em um gás, como mostrado na figura 81. Daí que, de acordo com o modelo do Big Bang, o momento da recombinação foi a primeira vez na história do universo em que os raios de luz puderam começar a atravessar o espaço desimpedidos. Era como se o nevoeiro cósmico tivesse se levantado.

A neblina também se erguera nas mentes de Alpher e Herman à medida que eles começaram a avaliar as implicações de um universo pós-recombinação. Se o modelo do Big Bang era correto e se Alpher e Herman tinham elaborado corretamente a sua física, então a luz presente no momento da recombinação ainda estaria percorrendo o universo atual. Porque a luz é incapaz de interagir com átomos neutros, que estão salpicados pelo espaço. Em outras palavras, a luz que fora liberada no final da época do plasma ainda existiria como um fóssil. Esta luz seria um legado do Big Bang.

A pesquisa de Alpher e Herman, terminada alguns meses depois da publicação do trabalho Alfa-Beta-Gama, era mais importante do que o cálculo da transformação do hidrogênio em hélio nos primeiros minutos depois do Big Bang. O trabalho original era brilhante, mas estava aberto a acusações de manipulação. Ao fazerem seus cálculos iniciais, Alpher e Gamow sabiam a resposta que tentavam encontrar, ou seja, a observada abundância de hélio. Assim, quando os cálculos teóricos corresponderam à observação, os críticos tentaram minar o trabalho dizendo que Gamow e Alpher haviam orientado seus cálculos na direção certa. Em outras palavras, o grupo anti-Big Bang acusava injustamente os dois cientistas de ajustarem a teoria para conseguir o resultado desejado, exatamente como Ptolomeu havia ajustado os epiciclos para corresponder ao movimento retrógrado de Marte.



**Figura 81** O momento da recombinação é um ponto crítico na história do universo primordial, de acordo com o modelo do Big Bang. O diagrama (a) ilustra as condições no universo durante os primeiros 300 mil anos depois do Big Bang, quando tudo era plasma. Os raios de luz seriam espalhados continuamente pelas partículas que encontravam, porque muitas das partículas eram carregadas e isso provocava o processo de espalhamento. O diagrama (b) ilustra as condições durante o período após a recombinação, quando o universo já esfriara o suficiente para permitir que núcleos de hidrogênio e hélio capturassem elétrons para formar átomos estáveis. Como os átomos são neutros, não havia cargas desligadas para permitir o espalhamento da luz. O universo tornou-se portanto transparente à luz, e os raios passaram sem obstáculos.

Em contraste com isso, a luz remanescente dos 300 mil anos após a criação não poderia ser interpretada como uma pressuposição. Não podia haver acusações de ajustes. Esse eco luminoso era uma previsão clara, baseada unicamente no modelo do Big Bang, assim Alpher e Herman tinham fornecido um teste decisivo. Detectar tal luz forneceria uma evidência poderosa de que o universo de fato começara com um Big Bang. De modo oposto, se a luz não existisse, então o Big Bang não teria acontecido e todo o modelo desmoronaria.

Alpher e Herman estimaram que o mar de luz liberado no momento da recombinação tinha um comprimento de onda de aproximadamente um milésimo de milímetro. Esse comprimento de onda era uma consequência direta da temperatura do universo quando a neblina de plasma clareou, que era de 3 mil graus centígrados. Contudo, todas essas ondas de luz teriam sido esticadas porque o universo estivera em expansão desde a recombinação. Isso era semelhante ao efeito do desvio para o vermelho na luz das galáxias que pareciam se afastar, e que já fora medido por astrônomos como Hubble. Alpher e Herman previram com segurança que a luz estendida do Big Bang agora teria um comprimento de onda de aproximadamente um milímetro. Este comprimento de onda é invisível ao olho humano, e fica localizado na, assim chamada, região de microondas do espectro.

Alpher e Herman estavam fazendo uma previsão específica. O universo deveria estar cheio de uma débil luz de microondas com o comprimento de um milímetro e ela deveria estar vindo de todas as direções, porque existira em todas as partes do universo no momento da recombinação. Qualquer um que pudesse detectar esta *radiação cósmica de fundo em microondas* (RCFM) provaria que o Big Bang de fato acontecera. A imortalidade estava à espera de quem pudesse fazer a medição.

Infelizmente, Alpher e Herman foram ignorados por completo. Ninguém fez nenhum esforço sério para pesquisar sua proposta da RCFM.

Houve vários motivos para a comunidade acadêmica desprezar a previsão da RCFM, mas a principal era a natureza interdisciplinar da pesquisa. A equipe de Gamow estava aplicando a física nuclear teórica à cosmologia para fornecer uma previsão que exigia a detecção de microondas para testá-la. A pessoa ideal para testar a proposta da RCFM seria portanto alguém

que tivesse interesse e experiência em astronomia, física nuclear e detecção de microondas. Mas havia muito poucas pessoas com esse conhecimento amplo.

Mesmo que um cientista tivesse todas essas habilidades, é improvável que ele acreditasse na possibilidade técnica de detectar a RCFM, porque a tecnologia de microondas ainda era relativamente primitiva. E se, por acaso, ele fosse otimista em relação ao desafio técnico, provavelmente seria cético quanto à premissa subjacente ao projeto. A maioria dos astrônomos não aceitara o modelo de universo do Big Bang e se agarrava à visão conservadora do universo eterno. Então, por que alguém iria se incomodar em procurar a RCFM que emergira de um Big Bang que poderia nunca ter acontecido? Alpher mais tarde lembrou como ele, Herman e Gamow passaram os cinco anos seguintes tentando persuadir os astrônomos de que seu trabalho devia ser levado a sério: “Gastamos um bocado de energia dando palestras sobre o trabalho. Ninguém aceitou; ninguém disse que podia ser medida”.

Para aumentar suas dificuldades, Alpher, Herman e Gamow sofriam de um problema de imagem. Eles eram freqüentemente vistos como dois jovens principiantes liderados por um brincalhão. Gamow tinha má fama por seus versos satíricos e suas aplicações jocosas da física. Em uma ocasião ele afirmou que Deus vivia a 9,5 anos-luz da Terra. Tal estimativa se baseava no fato de que em 1904, quando estourou a guerra russo-japonesa, as igrejas de toda a Rússia fizeram preces pedindo a destruição do Japão, mas foi só em 1923 que o Japão foi atingido pelo terremoto de Kanto. Presumivelmente as preces e a ira de Deus eram limitadas pela velocidade da luz, e o lapso de tempo indicava a distância até a morada de Deus. Gamow também ficou famoso com o livro *Mr. Tompkins in Wonderland* [O sr. Tompkins no País das Maravilhas], em que descrevia um mundo onde a velocidade da luz era de apenas alguns quilômetros por hora; assim, um passeio de bicicleta revelaria os estranhos efeitos da relatividade, como a dilatação do tempo e a contração do comprimento.

Infelizmente, alguns rivais viam tal abordagem para a popularização da ciência como infantil e trivial. Alpher assim resumiu seu problema: “Como ele escrevia sobre física e cosmologia num nível popular e como injetava uma quantidade considerável de humor em suas apresentações, freqüen-

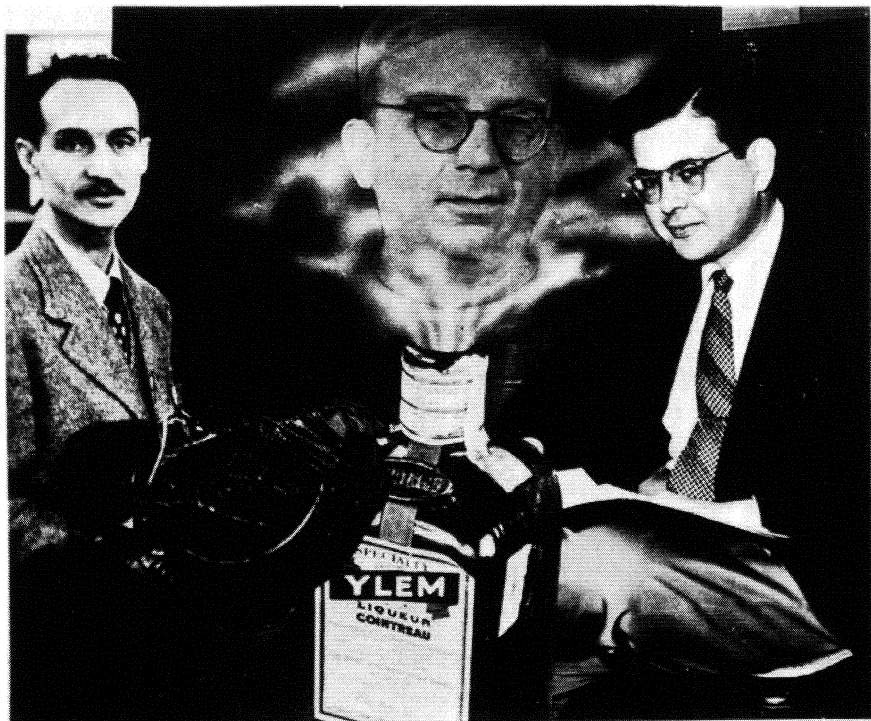


Figura 82 Robert Herman (à esquerda) e Ralph Alpher (à direita) criaram uma montagem de si mesmos com Gamow, junto com a garrafa de *ylem* usada para celebrar a apresentação do trabalho Alfa-Beta-Gama. Alpher colocou a imagem num conjunto de *slides*, o que significa que Gamow ficou tão surpreso quanto a platéia quando ela apareceu subitamente na tela durante uma palestra que deu em Los Alamos em 1949. Gamow é mostrado como um gênio escapando da garrafa, junto com a sopa primordial de *ylem*.

temente não era levado a sério por muitos de seus colegas cientistas. E isso nos atinge como seus colegas, sobretudo porque trabalhávamos numa área tão especulativa como a cosmologia”.

Em face da apatia desanimadora com que seu trabalho foi recebido, os três homens encerraram relutantemente seu programa de pesquisas em 1953, quando publicaram um derradeiro artigo resumindo seu trabalho e seus últimos cálculos. Gamow passou a dedicar-se a outras áreas de pesquisa, incluindo um namoro com a química do DNA. Alpher deixou a universidade e

tornou-se pesquisador na General Electric, enquanto Herman foi para os Laboratórios de Pesquisa da General Motors.

A partida de Gamow, Alpher e Herman era sintomática do lastimável estado da cosmologia do Big Bang. Depois de alguns anos encorajadores, o modelo enfrentava problemas constrangedores. Em primeiro lugar, com base nos desvios para o vermelho das galáxias, a idade do universo do Big Bang era menor do que a idade das estrelas que continha, o que era um absurdo. Em segundo lugar, tentativas de criar átomos a partir do Big Bang tinham parado no hélio, o que era embaraçoso, porque implicava que o universo não deveria conter oxigênio, carbono, nitrogênio ou nenhum dos elementos pesados. Mas, embora o panorama fosse desanimador, o Big Bang ainda não era uma causa perdida. O modelo poderia ser salvo e sua credibilidade impulsionada se alguém pudesse detectar a radiação de fundo em microondas, prevista por Alpher e Herman. Infelizmente, ninguém se importara de procurar por ela.

Enquanto isso, a situação para aqueles que apoiavam a idéia de um universo eterno parecia mais positiva. Eles estavam a ponto de contra-atacar com seu modelo aperfeiçoado. Uma equipe de cosmólogos baseada na Inglaterra estava desenvolvendo uma teoria que não apenas daria origem a um universo eterno, mas que também seria capaz de explicar os desvios para o vermelho das observações de Hubble. Esse novo modelo de um universo eterno se tornaria o maior rival do modelo da criação pelo Big Bang.

### **Plus ça change, plus c'est la même chose**

Fred Hoyle nasceu em Bingley, no dia 24 de junho de 1915. Era natural de Yorkshire, um cosmólogo, um rebelde e um gênio criativo. Ele se mostraria o crítico mais admirável e mais agressivo do modelo do Big Bang, e faria uma contribuição imensa para nosso entendimento do universo.

Hoyle demonstrou seu talento para a observação e a dedução muito cedo. Quando tinha apenas quatro anos de idade, desenvolveu para si mesmo um processo de determinar a hora através de uma análise detalhada. Fred percebeu que, quando um de seus pais perguntava a hora, o outro

olhava para o relógio da parede antes de responder. Assim, Fred começou a perguntar as horas repetidamente para descobrir o que estava acontecendo. Uma noite, ele foi mandado para a cama depois de ser informado que eram “sete e vinte” e nos momentos antes de cair no sono ele resolveu o mistério.

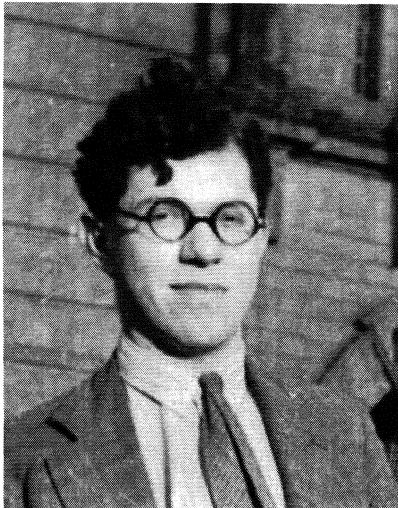
Uma idéia me ocorreu subitamente. Em vez de ser um número misterioso, desconhecido por mim, chamado “sete e vinte”, a “hora” poderia ser dois números separados, sete e vinte?... O relógio tinha dois ponteiros. Talvez um dos números pertencesse a um ponteiro e o segundo se referisse ao outro ponteiro. Mais algumas repetições da pergunta “que horas são?”, no dia seguinte, mostraram que ele estava certo. Como os números no mostrador do relógio eram grandes e claros, era fácil ver que havia dois conjuntos. Um ponteiro percorria um conjunto e o outro, o segundo conjunto. Restavam detalhes como “para” e “e”, mas para todos os propósitos o problema estava resolvido, e ele podia se voltar para outras questões intrigantes, como o que fazia o vento soprar.

Fred preferia aprender sozinho sobre o mundo, e assim era um gazeteiro freqüente na escola e às vezes abandonava a sala de aula por várias semanas. Em sua autobiografia, ele relembra o dia em que um professor tentou lhe ensinar os algarismos romanos, o que parecia completamente inútil quando os algarismos arábicos eram muito mais práticos e onipresentes. “Isso era mais do que eu podia agüentar, e o dia em que essa ofensa à inteligência foi perpetrada tornou-se meu último dia naquela escola.” Em outro colégio, Fred levou uma flor para a sala de aula para provar que ela tinha mais pétalas do que o professor declarara no dia anterior. A resposta do professor foi esbofeteá-lo por ser insolente. Não é de admirar que Fred também deixasse essa escola para nunca mais voltar.

O jovem Fred parecia passar mais tempo no cinema poeira local do que na sala de aula. Ele compensou algumas das aulas que estava perdendo estudando as legendas dos filmes mudos. “Eu aprendi a ler freqüentando o cinema Hippodrome... um grande estabelecimento educativo... e, com a entrada custando um *penny*, era muito mais barato do que a escola.”

Quando estava alguns anos mais velho, Fred ficou interessado em astronomia. Seu pai, um comerciante de roupas que não freqüentara a escola, ia





**Figura 83** A foto de Fred Hoyle quando bebê, com sua mãe, ficou junto com o pai, que lutava nas trincheiras da Primeira Guerra Mundial. Comentando sobre a foto da infância com um ursinho, Hoyle se descreveu como “evidentemente persuadido pela crença errônea de que o mundo é um lugar melhor do que eu descobriria depois”. A foto de Hoyle aos dez anos mostra-o no auge de sua fase de gazeteiro, enquanto a última foto o revela como um aluno de Cambridge.

com ele visitar um amigo, em uma cidade vizinha, que tinha um telescópio. Passavam a noite estudando as estrelas e voltavam para casa de madrugada. Esse fascínio inicial de Fred pela astronomia foi reforçado na idade de 12 anos pela leitura de *Stars and atoms*, de Arthur Eddington.

Finalmente, Hoyle foi persuadido a conceder uma segunda chance ao sistema educacional britânico. Ele se instalou na Bingley Grammar School e daí seguiu uma carreira acadêmica tradicional. Em 1933, ganhou uma bolsa de estudos no Emmanuel College, em Cambridge, onde estudou matemática. Revelou-se um aluno excelente e ganhou o Prêmio Mayhew, dado ao melhor aluno de matemática aplicada. Depois de se graduar ele conseguiu uma vaga como doutorando em Cambridge, trabalhando junto com nomes famosos como Rudolf Peierls, Paul Dirac, Max Born e seu ídolo, Arthur Eddington. Depois de conquistar seu doutorado em 1939, ele foi aceito como membro do St John's College e começou a concentrar sua pesquisa na evolução das estrelas.

Mas seu progresso acadêmico foi interrompido subitamente: “A guerra mudaria tudo, destruiria minha relativa prosperidade e devoraria meu melhor período criativo, justamente quando eu estava firmando meus pés na pesquisa”. Inicialmente ele foi enviado para trabalhar no Grupo de Radar do Almirantado, perto de Chichester, e, em 1942 foi promovido a chefe de seção na Instalação de Sinais do Almirantado em Witley, no Surrey, onde continuou a fazer pesquisas sobre radar. Foi lá que ele conheceu Thomas Gold e Hermann Bondi, que partilhavam de seu interesse pela astronomia. Nos anos seguintes, a colaboração de Hoyle, Bondi e Gold se tornaria tão famosa quanto a de seus grandes rivais americanos, Gamow, Alpher e Herman.

Bondi e Gold, que tinham sido criados em Viena, e depois estudaram juntos em Cambridge, dividiam uma casa perto do laboratório de pesquisas do Almirantado. Hoyle passava várias noites por semana com eles, já que sua casa ficava a oitenta quilômetros de distância e ele detestava idas e vindas. Depois de dias de pesquisas intensas para construir melhores sistemas de radar, os três homens relaxavam naquela casa realizando miniseminários sobre os assuntos que os interessavam antes do início da guerra.

Em especial, eles tinham se tornado fascinados com as observações de Hubble sobre um universo em expansão e suas implicações. Sempre que

abordavam o assunto da cosmologia, cada um assumia um papel definido. Bondi, que tinha talento para a matemática, fornecia as fundações lógicas para suas discussões e manipulava as equações que delas surgiam. Gold, que era mais inclinado para a ciência, forneceria uma interpretação física para as equações de Bondi. Hoyle, que era o líder do grupo, guiava as especulações. De acordo com Gold:

Fred Hoyle ficava nos estimulando — o que significava a expansão de Hubble? Esse era sempre o desafio de Hoyle para nós. Fred fazia Bondi sentar de pernas cruzadas no chão, então se colocava atrás dele, sentado no braço de uma poltrona, e o chutava a cada cinco minutos, para estimulá-lo a escrever mais rápido, exatamente como se chicoteia um cavalo. Ele ficava sentado lá e dizia: “Agora vamos, faça isto, faça aquilo”, e Bondi calculava furiosamente à grande velocidade, embora *o que* ele estava calculando nem sempre ficava claro para ele — em certa ocasião ele perguntou a Fred: “Agora, neste ponto, eu multiplico ou divido por  $10^{46}$ ?”

Depois da guerra, Hoyle, Bondi e Gold seguiriam carreiras separadas na astronomia, matemática e engenharia, respectivamente, mas, como todos os três moravam em Cambridge, continuaram com seus estudos cosmológicos nas horas vagas. Hoyle e Gold se reuniam regularmente na casa de Bondi e discutiam os prós e os contras das duas teorias rivais sobre o universo: o modelo do Big Bang e o modelo eterno e estático. Suas discussões desfavoreciam o Big Bang, em parte, porque ele indicava que o universo era mais jovem do que as estrelas que existiam nele, e em parte porque ninguém tinha a menor idéia do que existira antes do Big Bang. Mas, ao mesmo tempo, todos os três tinham de admitir que as observações de Hubble implicavam um universo em expansão.

Então, em 1946, o trio de Cambridge teve uma grande idéia. Eles bolaram um modelo radicalmente novo do universo. Seu modelo era extraordinário porque parecia chegar a um acordo impossível: descrevia um universo em expansão, mas que ainda era verdadeiramente eterno e essencialmente imutável. Até aquele ponto, a expansão cósmica tinha sido sinônimo de um momento de criação do Big Bang, mas o novo modelo sugeria que os desvios

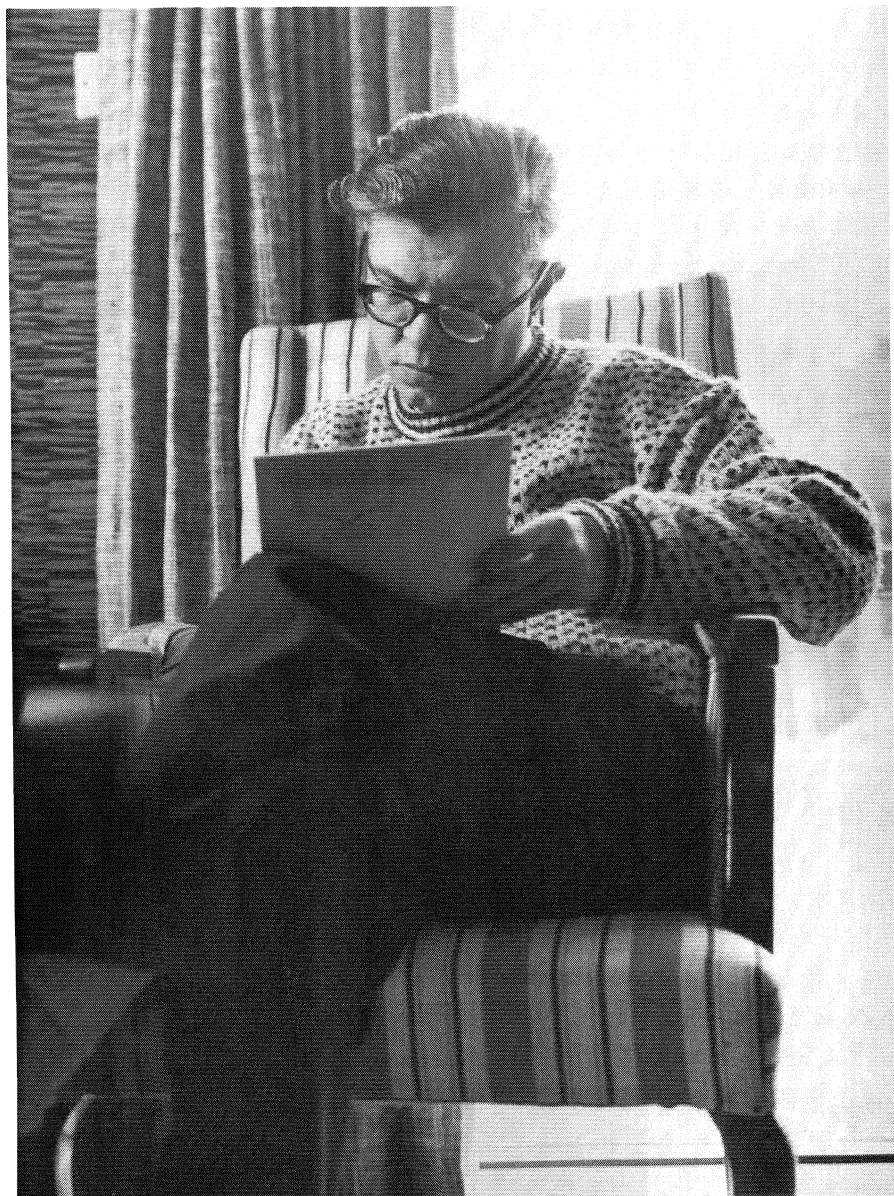


Figura 84 Fred Hoyle fez contribuições para muitas áreas da física e da astronomia, mas é mais conhecido pelo modelo de universo do estado estacionário.

para o vermelho de Hubble e as galáxias em fuga também poderiam ser ligadas à visão tradicional de um universo que existiria para sempre.

A inspiração para este novo modelo parece ter vindo de um filme chamado *Dead of night*, lançado em setembro de 1945. Embora tivesse sido feito pelos Ealing Studios, estava bem distante de sua produção costumeira de suaves comédias inglesas.

De fato, era o primeiro filme de horror feito na Grã-Bretanha depois da revogação da censura de guerra, que proibira qualquer forma de entretenimento que pudesse prejudicar o moral.

*Dead of night*, estrelado por Mervyn Johns, Michael Redgrave e Googie Withers, conta a história de um arquiteto chamado Walter Craig. Ele acorda um dia e viaja para o campo, onde visita uma fazenda para discutir um novo projeto de construção. Ao chegar lá, diz a várias pessoas hospedadas na casa que as acha familiares devido a um sonho que vinha tendo. Um sonho perturbador. Os convidados reagem com uma mistura de suspeita e curiosidade, e um por um vão revelando suas próprias experiências estranhas, contando para Craig uma série de cinco histórias de terror, que variam de um assassinato em família ao relato de um psiquiatra sobre um ventríloquo psicótico. Craig vai ficando agitado ao ouvir cada história e o filme chega ao clímax num terror de pesadelo. Subitamente ele acorda e percebe que a sequência de acontecimentos terríveis não passou de um sonho ruim. Pula da cama, veste-se e vai para o campo, onde visita uma fazenda para discutir um novo projeto de construção. Ao chegar, diz aos vários hóspedes da casa que os conhece devido a um sonho perturbador que vem tendo...

O filme tem uma característica estranha, porque a história evolui com o tempo, com novos personagens aparecendo e a trama se desenvolvendo, e no entanto tudo termina exatamente onde começou. Uma porção de coisas acontece, mas no final do filme nada mudou. Devido a sua estrutura circular, o filme poderia continuar para sempre.

Os três homens assistiram ao filme no cinema Guilford em 1946, o qual logo depois levou Gold a apresentar uma idéia notável. Hoyle mais tarde descreveria a reação de Gold a *Dead of night*:

Tommy Gold ficou muito impressionado com o filme e mais tarde, naquela noite, ele disse: “E se o universo fosse construído assim?” Costumamos pensar em situações imutáveis como sendo estáticas. E o que o filme de terror fez por nós três foi remover essa noção errada. Podemos ter situações imutáveis que são dinâmicas, como, por exemplo, um rio fluindo suavemente.

O filme levou Gold a desenvolver um modelo completamente novo de universo. Nesse modelo, o universo ainda se expandia, mas ele contradizia os defensores do Big Bang em todos os outros aspectos. Lembre-se de que os defensores do Big Bang tinham presumido que a expansão implicava que o universo fora menor, mais denso e mais quente no passado. O que apontava, logicamente, para um momento de criação há alguns bilhões de anos. Em contraste com isso, Gold agora podia conceber um universo em expansão que poderia ter existido sempre num estado imutável na sua maior parte. Exatamente como no filme *Dead of night*, Gold imaginou um universo que se desenvolvia com o tempo, e no entanto permanecia em grande parte imutável.

Antes de explicar em detalhes a idéia, aparentemente paradoxal, vale a pena notar que a noção de mudança contínua ligada à imortalidade está sempre ao nosso redor. Hoyle nos deu o exemplo de um rio, que flui constantemente, mas continua imutável. Existe também um tipo de nuvem lenticular, o alto-cúmulo, que fica imóvel no topo de uma montanha mesmo sob fortes ventos. O ar úmido é soprado para cima, em direção a um dos lados da nuvem onde ele esfria, se condensa, forma novas gotículas que se adicionam à nuvem. Ao mesmo tempo, do outro lado da nuvem, o vento está carregando algumas das gotículas de água até o ponto em que descem a montanha, se aquecem e evaporam. Gotículas são acrescentadas e retiradas da nuvem, mas de modo geral a nuvem continua a mesma. Até mesmo os nossos corpos demonstram esse princípio de mudança, em harmonia com a constância, porque nossas células morrem, apenas para serem substituídas por novas células, que também morrem, são substituídas por outras e assim por diante. De fato, trocamos quase todas as nossas células ao longo de poucos anos, mas continuamos a mesma pessoa.

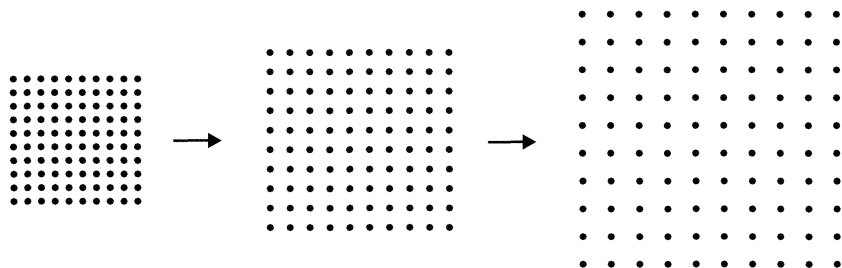
Assim, como foi que Gold aplicou esse princípio — de desenvolvimento contínuo que não resulta em mudança — ao universo inteiro? O desenvolvi-

mento contínuo era óbvio, porque o universo parecia estar se expandindo constantemente. Se não houvesse nada além da expansão, então o universo mudaria e se tornaria menos denso com o tempo, o que era exatamente o que o modelo do Big Bang sugeria. Contudo, Gold introduziu um segundo aspecto ao desenvolvimento do universo, que contrabalançava o efeito diluidor da expansão e resultava num cosmos largamente imutável. Era a idéia de que o universo compensava a sua expansão criando nova matéria para preencher os vazios crescentes entre as galáxias em fuga, de modo que a densidade geral do universo permaneceria a mesma. Tal universo aparentaria estar se desenvolvendo e expandindo, e no entanto seria em grande parte imutável, constante e eterno. O universo esvaziado pela expansão seria reabastecido.

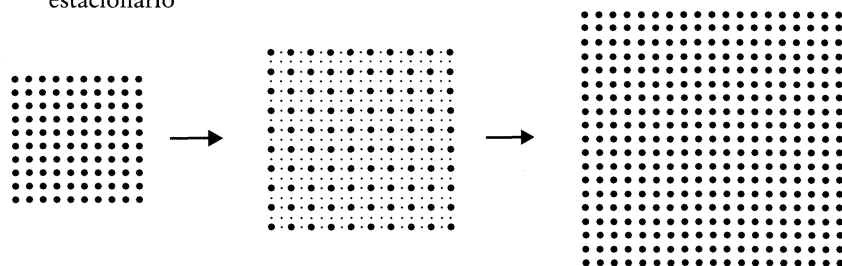
Essa noção de um universo evolutivo e imutável ficaria conhecida como *teoria do estado estacionário*. Quando Gold apresentou a idéia pela primeira vez, Hoyle e Bondi acharam que era maluca. Era o início da noite na casa de Bondi, e Hoyle tinha a opinião de que a teoria de Gold seria demolida e abandonada antes do jantar. Mas, à medida que ficava com mais fome, ficou claro que a cosmologia de Gold era consistente e compatível com um amplo espectro de observações astronômicas. Era uma teoria perfeitamente razoável do universo. Em resumo, se o universo era infinito, então ele poderia dobrar de tamanho e continuar infinito e imutável desde que matéria fosse criada entre as galáxias, como mostrado na figura 85.

Todo o pensamento cosmológico anterior fora guiado pelo princípio cosmológico que afirmava que nosso pedaço do universo, a Via Láctea e seu ambiente, era essencialmente igual a todos os outros lugares do universo. Em outras palavras, não habitamos um local especial do universo. Einstein explorara esse princípio quando aplicou a relatividade geral a todo o universo. Gold, contudo, estava dando um passo adiante e postulava o *princípio cosmológico perfeito*: não somente a nossa região do universo é igual a todas as outras, mas nossa era no universo é igual a todas as outras. Em outras palavras, não habitamos nem um lugar especial do universo, nem uma época especial. O universo é o mesmo em toda parte e também em todas as eras. Gold acreditava que o modelo do estado estacionário do universo era uma consequência natural do seu princípio cosmológico perfeito.

(a) universo do Big Bang



(b) universo do estado estacionário



**Figura 85** Diagrama (a) mostra a expansão num universo do Big Bang. Um pequeno trecho do universo dobra a sua área, e então dobra de novo. Os pontos que representam as galáxias tornam-se mais dispersos de modo que, à medida que o tempo passa, o universo se torna menos denso.

O diagrama (b) mostra a expansão no universo do estado estacionário. Novamente um pequeno trecho do universo dobra de área duas vezes, mas dessa vez novas galáxias aparecem entre as antigas, como mostrado no estágio intermediário da evolução. Essas sementes de galáxias crescem até se tornar galáxias completas, assim, uma terceira fase do universo parece igual à primeira. Os críticos podem reclamar de que, embora a densidade do universo seja a mesma, o universo mudou, porque agora é quatro vezes maior. Mas, se o universo for infinito, então quatro vezes infinito ainda é infinito. Portanto, um universo infinito pode, de fato, expandir-se enquanto permanece imutável, desde que os espaços criados pela expansão sejam preenchidos com novas galáxias.



O trio de Cambridge desenvolveu ainda mais a idéia de Gold, culminando com dois trabalhos publicados em 1949. O primeiro, de autoria de Gold e Bondi, descrevia o estado estacionário em termos filosóficos mais amplos. Hoyle queria expressá-lo com detalhes mais matemáticos e é por isso que publicou seu trabalho separadamente. Tal cisão estilística era apenas superficial, e Hoyle, Bondi e Gold continuaram a trabalhar juntos para promover o modelo do estado estacionário para o resto do mundo.

Havia duas perguntas imediatas dirigidas ao modelo do estado estacionário. Onde toda essa matéria estava sendo criada e de onde provinha? Hoyle respondeu que ninguém deveria esperar ver estrelas e galáxias aparecerem do nada. A compensação pela expansão do universo exigia uma taxa de criação de “um átomo a cada século em um volume igual ao do prédio do Empire State”, o que seria indetectável para os observadores na Terra. Para explicar a criação desses átomos, Hoyle propôs um *campo de criação*, também conhecido como campo-C. Supunha-se que tal entidade, inteiramente hipotética, permeava todo o universo, gerando átomos espontaneamente e mantendo o *status quo*. Hoyle tinha que admitir que não tinha a menor idéia da física subjacente a essa noção de campo-C, mas na sua opinião seu modelo de criação contínua era muito mais lógico do que a criação em uma explosão todo-poderosa.

Agora havia uma escolha clara para os cosmólogos. Eles podiam optar por um universo do Big Bang, com um momento de criação, uma história finita e um futuro que seria muito diferente do presente. Ou podiam escolher o universo do estado estacionário, com uma criação contínua, uma história eterna e um futuro que seria, na sua maior parte, igual ao presente.

Hoyle estava ansioso para provar que o modelo do estado estacionário representava o universo verdadeiro, e sugeriu um teste definitivo para mostrar que estava certo. De acordo com o modelo do estado estacionário, nova matéria estava sendo criada em toda parte, o que, no devido tempo, daria origem a novas galáxias em todos os lugares. Essas galáxias-bebês deveriam existir em nossas vizinhanças, no lado oposto do universo e em todos os lugares daqui até lá. Se o modelo do estado estacionário fosse verdadeiro, então os astrônomos conseguiriam ver essas galáxias recém-nascidas por todo o universo. O modelo do Big Bang contudo previa uma situação muito dife-

rente. Ele afirmava que todo o universo nascera ao mesmo tempo, e tudo devia ter evoluído de um modo vagamente semelhante. Assim haveria um tempo em que todas as galáxias eram bebês e uma época em que elas eram adolescentes, em sua maioria, e agora elas deveriam estar razoavelmente maduras. Assim, o único meio de se ver uma galáxia recém-nascida hoje em dia seria com um telescópio poderosíssimo, que pudesse alcançar as partes mais distantes do universo. Isso porque a luz emitida por uma galáxia muito distante teria levado todo esse tempo para chegar até aqui e nós a veríamos, efetivamente, como ela era em um passado distante, quando fora uma galáxia-bebê.

Assim, o modelo do estado estacionário previa que as galáxias-bebês estariam salpicadas por todo o universo, enquanto, de acordo com o modelo do Big Bang, só seríamos capazes de ver galáxias-bebês a imensas distâncias cósmicas. Infelizmente, quando o debate entre os defensores do Big Bang e do estado estacionário começou, no final da década de 1940, nem mesmo os melhores telescópios do mundo eram poderosos o bastante para permitir que os astrônomos distinguíssem entre galáxias-bebês e galáxias mais maduras. A distribuição de galáxias-bebês permaneceu desconhecida, e o debate Big Bang *versus* estado estacionário continuou sem solução.

Sem observações precisas, ou dados que pudessem diferenciar os dois modelos, os rivais nos dois campos passaram a temperar seus argumentos científicos com observações mordazes. George Gamow, por exemplo, lembrou que a maioria dos defensores do estado estacionário estavam baseados na Inglaterra, e usou isso para provocá-los: “Não surpreende que a teoria do estado estacionário seja tão popular na Inglaterra, não somente porque foi proposta por três de seus filhos (um nascido lá e dois importados), H. Bondi, T. Gold e F. Hoyle, mas também porque sempre foi política da Grã-Bretanha manter o *status quo* na Europa”.

Hoyle e Gold e até certo ponto Bondi eram completos rebeldes, e assim a zombaria de que o modelo do estado estacionário nascera do conservadorismo britânico era injusta. De fato, Hoyle era quase obsessivo em seu questionamento da ortodoxia. Às vezes se mostrava razoável, mas em muitas ocasiões dava a impressão de estar desnorteado. No caso mais notório, Hoyle denunciou que o fóssil do arqueópteryx era uma fraude, e também expressou sérias dúvidas



Figura 86 Thomas Gold, Hermann Bondi e Fred Hoyle, que inventaram o modelo de universo do estado estacionário.

quanto à teoria de Darwin da evolução por seleção natural. Ele escreveu para a revista *Nature*: “A probabilidade da formação da vida a partir de matéria inanimada é de um para um número com 40 mil zeros... Grande o bastante para enterrar Darwin e toda a teoria da evolução”.

Hoyle mais tarde apresentou uma analogia drástica para ilustrar a aparente impossibilidade da evolução complexa: “Imagine um tornado passando por cima de um depósito de ferro velho, e, depois que ele passa, deixa em seu rastro um avião jumbo Boeing 747 novinho em folha, que, é claro, foi criado e montado por acaso a partir das peças existentes no depósito”.

Comentários desse tipo prejudicavam a posição de Hoyle, e, por associação, também manchavam a reputação do estado estacionário entre os cosmólogos. Os três porta-vozes do estado estacionário também eram criticados por não terem nenhuma ligação com a astronomia observacional. O astrônomo canadense Ralph Williamson disse que Hoyle “não tinha experiência real com o manuseio dos grandes telescópios que tornam possível a astronomia moderna”. Em outras palavras, Williamson afirmava que somente aqueles que exploravam ativamente o cosmos poderiam teorizar sobre ele.

Bondi defendeu Hoyle atacando diretamente o comentário de Williamson: “Isso é a mesma coisa que afirmar que só encanadores e leiteiros têm o direito de se pronunciar sobre questões de hidrodinâmica”.

Williamson também atacou Hoyle por ser muito especulativo e não basear sua cosmologia em observações astronômicas concretas, os chamados fatos comprovados. E novamente Bondi foi rápido na defesa de Hoyle: “Mas o que é um fato astronômico? Em geral é uma mancha em uma chapa fotográfica!”. Ambos os lados do debate tinham descido ao nível de calúnias e acusações mordazes.

Cansado de ataques pessoais e políticas mesquinhas, Hoyle passou por períodos em que preferia explicar suas idéias sobre o universo para o público em vez de se dirigir a seus colegas acadêmicos. Escreveu vários artigos e produziu uma série de livros populares escritos num estilo lúcido e vivo. Certa vez escreveu: “O espaço não é um lugar remoto. Para chegar lá, você teria que dirigir apenas uma hora, se seu carro pudesse ir diretamente para cima”. De fato, ele tinha um domínio tão bom das palavras que acabou escrevendo o roteiro de um seriado para a BBC-TV, *A, de Andrômeda*, uma peça de teatro para crianças chamada *Foguetes na Ursa Maior* e uma série de romances de ficção científica, incluindo *A nuvem negra*.

Em seu primeiro grande trabalho de divulgação científica, *The nature of the universe*, Hoyle apresentou uma defesa detalhada do modelo do estado estacionário: “Pode parecer uma idéia estranha, e eu concordo que é, mas na ciência não importa que uma idéia seja muito estranha, desde que funcione — o que significa; enquanto a idéia puder ser expressa de uma forma precisa e até onde suas conseqüências estejam de acordo com a observação”.

É interessante que George Gamow, o principal rival de Hoyle no debate Big Bang *versus* estado estacionário, também apresentou suas teorias em textos populares. Os dois homens produziram um impacto significativo na compreensão da ciência pelo público, e por isso ganharam o prestigiado Prêmio Kalinga de Divulgação Científica da Unesco, Gamow em 1956 e Hoyle em 1967.

A batalha pelo apoio popular é bem ilustrada na estranha cena de uma ópera em *Mr. Tompkins in Wonderland*, a aventura científica fantástica de Gamow. Gamow colocou Hoyle em uma ópera e o fez cantar uma canção que parodiava sua própria teoria do estado estacionário. Defendendo seu ponto de vista, Gamow introduziu Hoyle na história fazendo-o se materializar “do nada no espaço entre galáxias brilhantes”.

O incidente mais significativo nessa batalha popular pelo controle do cosmos aconteceu em uma transmissão de rádio da British Broadcasting Corporation em 1950. A BBC mantinha um arquivo de fichas de possíveis colaboradores, e a ficha de Hoyle estava marcada com as palavras “Não use este homem”, ao que parece porque ele era considerado um criador de casos que atacava continuamente o sistema. Não obstante, o produtor e colega de Cambridge, Peter Laslett, desprezou o aviso e convidou Hoyle para fazer uma série de cinco palestras na rede de rádio Third Programme. A série ia ao ar às oito horas da noite de sábado e as transcrições eram publicadas na revista *Listener*. Todo o projeto foi um imenso sucesso e transformou Hoyle em uma celebridade.

A série de programas de rádio ainda é lembrada, hoje em dia, por causa de um momento histórico no final do último programa. Embora o termo “Big Bang” já tenha aparecido em capítulos anteriores deste livro, seu uso era na verdade anacrônico, porque o termo foi criado por Hoyle durante seu programa de rádio. Até o momento em que Hoyle criou esse título, a teoria era conhecida de modo geral como *modelo evolutivo dinâmico*.

O termo “Big Bang” surgiu quando Hoyle explicava que existiam duas teorias rivais sobre o cosmos. Havia, é claro, o seu modelo do estado estacionário, e havia o modelo que envolvia um momento de criação:

Um deles se distingue pela suposição de que o universo começou há um tempo finito em uma única e imensa explosão. Nessa suposição, a expansão atual é uma relíquia da violência daquela explosão. Agora, esta idéia de um Big Bang me parece insatisfatória... Em bases científicas, esta suposição do Big Bang é a menos saborosa das duas. Pois trata-se de um processo irracional que não pode ser descrito em termos científicos... Em bases filosóficas, eu também não vejo nenhuma boa razão para preferir a idéia do Big Bang.

Quando Hoyle usou o termo “Big Bang”, sua voz assumiu um tom de desdém, e ao que tudo indica ele pretendia que a frase fosse um comentário irônico sobre a teoria rival. Não obstante, os fãs e os críticos do modelo do Big Bang gradualmente o adotaram. Sem querer, o maior crítico do modelo do Big Bang o batizara.

## CAPÍTULO 4 – DISSIDENTES DO COSMOS

### RESUMO

1 LEMAÎTRE CONSIDEROU QUE AS OBSERVAÇÕES DE HUBBLE DE UM UNIVERSO EM EXPANSÃO ERAM EVIDÊNCIA DE QUE O MODELO BIG BANG DO UNIVERSO (CRIAÇÃO E EVOLUÇÃO) ESTAVA CORRETO.

2 EINSTEIN MUDOU SEU PONTO DE VISTA E APOIOU O MODELO DO BIG BANG.

➤ MAS A MAIORIA DOS CIENTISTAS CONTINUOU A ACREDITAR NO MODELO TRADICIONAL DE UM UNIVERSO ETERNO E ESTÁTICO.

➤ ELES CRITICAVAM O MODELO DO BIG BANG PORQUE ELE IMPLICAVA QUE O UNIVERSO ERA MAIS JOVEM DO QUE AS ESTRELAS QUE CONTINHA.

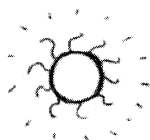
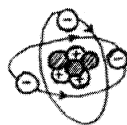
UNIVERSO DO BIG BANG  
VERSUS  
UNIVERSO ESTÁTICO ETERNO.

CABIA AOS DEFENSORES DO BIG BANG ENCONTRAR ALGUMA EVIDÊNCIA DE QUE SUA TEORIA ERA CORRETA. DE OUTRO MODO, O UNIVERSO ETERNO E ESTÁTICO CONTINUARIA A SER A TEORIA PREDOMINANTE.



A FÍSICA ATÔMICA ERA UM CAMPO DE PROVAS ESSENCIAL: SERÁ QUE O MODELO DO BIG BANG PODERIA EXPLICAR POR QUE ÁTOMOS LEVES (COMO HIDROGÊNIO E HÉLIO) SÃO MAIS COMUNS DO QUE ÁTOMOS PESADOS (COMO FERRO E OURO) NO UNIVERSO ATUAL?

3 RUTHERFORD DEDUZIU A ESTRUTURA DO ÁTOMO. O NÚCLEO CENTRAL CONTÉM PRÓTONS (+) E NÊUTRONS E É ORBITADO PELOS ELÊTRONS (-).



➤ FUSÃO = DOIS NÚCLEOS PEQUENOS SE JUNTAM PARA FORMAR UM NÚCLEO MAIOR E LIBERAM ENERGIA. É ASSIM QUE O SOL BRILHA!

4 NA DÉCADA DE 1940, GAMOW, ALPHER E HERMAN VISUALIZARAM O UNIVERSO PRIMORDIAL COMO UMA SOPA SIMPLES E DENSE DE PRÓTONS, NÊUTRONS E ELÉTRONS. ELES IMAGINAVAM PODER FORMAR ÁTOMOS CADA VEZ MAIORES PELA FUSÃO E O CALOR DO BIG BANG.



SUCESSO: O BIG BANG CONSEGUIU EXPLICAR POR QUE O UNIVERSO ATUAL É COMPOSTO DE 90% DE ÁTOMOS DE HIDROGÊNIO E 9% DE ÁTOMOS DE HÉLIO.



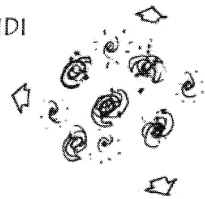
FRACASSO: O BIG BANG NÃO CONSEGUIU EXPLICAR A FORMAÇÃO DE ÁTOMOS MAIS PESADOS DO QUE O HÉLIO.

5 ENQUANTO ISSO, GAMOW, ALPHER E HERMAN PREVIRAM QUE UM ECO LUMINOSO DO BIG BANG HAVIA SIDO LIBERADO MAIS OU MENOS 300 MIL ANOS DEPOIS DO MOMENTO DA CRIAÇÃO E AINDA PODERIA SER DETECTADO HOJE EM DIA.



A DESCOBERTA DESTE ECO PODIA PROVAR QUE HOUVE UM BIG BANG MAS NINGUÉM PROCUROU PELA CHAMADA RADIAÇÃO CÔSMICA DE FUNDO EM MICROONDAS (RCFM).

6 TAMBÉM NA DÉCADA DE 1940, HOYLE, GOLD E BONDI PROPUSERAM O MODELO DE UNIVERSO DO ESTADO ESTACIONÁRIO, QUE AFIRMAVA QUE O UNIVERSO ESTAVA SE EXPANDINDO. MAS NOVA MATÉRIA ERA CRIADA E FORMAVA NOVAS GALÁXIAS NOS VAZIOS CRESCENTES ENTRE AS GALÁXIAS ANTIGAS.



ELES ARGUMENTAVAM QUE O UNIVERSO EVOLUI, MAS EM ESSÊNCIA PERMANECE IMUTÁVEL E EXISTE PARA SEMPRE. ESSA VISÃO ERA COMPATÍVEL COM AS OBSERVAÇÕES DO DESVIO PARA O VERMELHO DE HUBBLE E SUBSTITUÍA O MODELO TRADICIONAL, ETERNO E ESTÁTICO DO UNIVERSO.

O DEBATE COSMOLÓGICO AGORA FICAVA CENTRADO NESTES DOIS MODELOS:

UNIVERSO DO BIG BANG  
*VERSUS*  
UNIVERSO DO ESTADO ESTACIONÁRIO.

OS COSMÓLOGOS ESTAVAM DIVIDIDOS SOBRE QUAL MODELO SERIA CORRETO.

## Capítulo 5

---

# A MUDANÇA DE PARADIGMA

---

*Como se vê, o telégrafo é uma espécie de gato muito, muito comprido. Você puxa a sua cauda em Nova York e a cabeça mia em Los Angeles. Consegue entender isso? E o rádio opera exatamente do mesmo modo: você envia sinais aqui e eles são recebidos lá. A única diferença é que não existe gato.*

ALBERT EINSTEIN

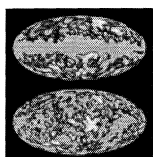
*A frase mais excitante que se ouve na ciência, aquela que anuncia novas descobertas, não é “Heureka!” (achei!) mas “Isso é engraçado...”.*

ISAAC ASIMOV

*Em geral, procuramos uma nova lei pelo seguinte processo: primeiro fazemos uma suposição. Não ria, este é o passo mais importante. Então você calcula as conseqüências. Compara as conseqüências com a experiência. Se ela divergir da experiência, a suposição estava errada. Essa declaração simples é a chave da ciência. Não importa que a sua suposição seja bela, ou que você seja muito inteligente, ou seja lá o que for. Se divergir da experiência, você está errado. E isso é tudo.*

RICHARD FEYNMAN





Havia agora duas teorias dominantes lutando pelo controle do universo. Em um canto estava o modelo do Big Bang, que evoluíra a partir da teoria da relatividade geral de Einstein, graças a Lemaître e Friedmann. Ele propunha um único momento de criação seguido por uma rápida expansão, e com certeza Hubble tinha observado que o universo estava se expandindo e as galáxias, se afastando. Além disso, Gamow e Alpher haviam demonstrado que o Big Bang podia explicar a abundância de hidrogênio e hélio. Do outro lado do ringue estava o modelo do estado estacionário inventado por Hoyle, Gold e Bondi, que retornava à visão conservadora de um universo eterno, mas que incluía um elemento de criação contínua e expansão. Essa criação contínua e expansão tornavam o modelo compatível com todas as observações astronômicas, incluindo os desvios para o vermelho que Hubble observara nas galáxias em fuga.

Debates científicos sobre a força de teorias rivais geralmente acontecem nas cafeterias das universidades ou nas conferências de elite em que as grandes mentes se reúnem. Contudo, em relação à questão de o universo ser eterno ou criado — a questão cosmológica fundamental —, a discussão caiu no domínio público, encorajada pelos vários livros populares e pelos programas de rádio de Hoyle, Gamow e outros cosmólogos.

Não nos surpreende que a Igreja Católica não tenha perdido tempo em divulgar sua opinião sobre o debate cosmológico. O papa Pio XII, que já tinha declarado que a biologia evolutiva não estava em conflito com os ensinamentos da Igreja, apareceu na Academia Pontífice de Ciências em 22 de novembro de 1951 para fazer um discurso intitulado “As provas da existência de Deus à luz da moderna ciência natural”. Em especial o papa endossou

fortemente o modelo do Big Bang, que ele percebia como uma interpretação científica do Gênesis e uma evidência da existência de Deus:

Assim, tudo parece indicar que o universo material teve um poderoso começo no tempo, dotado como estava de vastas reservas de energia, em virtude das quais, a princípio rapidamente, depois aos poucos, evoluiu para o seu estado atual... De fato, parece que a ciência atual, com seu abrangente salto através de milhões de séculos até o passado, conseguiu tornar-se testemunha daquele *Fiat lux* primordial, pronunciado no momento em que, junto com a matéria, se derramou do nada um mar de luz e radiação, enquanto as partículas dos elementos químicos se dividiam e formavam milhões de galáxias... Portanto, existe um Criador. Portanto, Deus existe! Embora isso não seja nem explícito nem completo, essa é a resposta que esperávamos da ciência, e que a presente geração dela esperava.

O discurso do papa, que também incluía uma menção específica a Hubble e suas observações, foi manchete dos jornais em todo o mundo. Um dos amigos de Hubble, Elmer Davis, leu o discurso e não resistiu à tentação de escrever para Hubble brincando: “Estou acostumado a vê-lo receber as mais altas honrarias; mas até ler o jornal de hoje eu não sonharia que o papa recorresse a você para provar a existência de Deus. Isso deve qualificá-lo, no devido curso, para ser santificado”.

Surpreendentemente, George Gamow, que era ateu, gostou da atenção dada pelo papa ao seu campo de pesquisa. Escreveu para Pio XII e enviou-lhe um artigo de divulgação sobre cosmologia e uma cópia de seu livro *The creation of the universe*. Chegou ao ponto de citar o papa, meio de brincadeira, num trabalho de pesquisa que publicou em 1952, na famosa revista *Physical Review*, sabendo muito bem que isso aborreceria muitos de seus colegas, ansiosos em evitar qualquer ligação entre ciência e religião.

A esmagadora maioria dos cientistas achava que a decisão quanto à validade do modelo do Big Bang não tinha nada a ver com o papa, e que o seu apoio não seria usado em nenhum debate científico sério. De fato, não demorou muito para o apoio do papa ter o efeito oposto e virar um emba-

ração para os defensores do Big Bang. Defensores da teoria do estado estacionário começaram a usar a discurso do papa como meio de zombar do Big Bang. O físico britânico William Bonner, por exemplo, sugeriu que a teoria do Big Bang era parte de uma conspiração destinada a apoiar a cristandade: “O motivo subjacente a isso, é claro, é colocar Deus como criador. Parece ser a oportunidade que a teologia cristã estava esperando desde que a ciência começou a derrubar a religião das mentes dos homens racionais no século XVII”.

Fred Hoyle foi igualmente cáustico no que se referia à associação do Big Bang com a religião, condenando-o como um modelo construído sobre alicerces judaico-cristãos. Seus pontos de vista eram partilhados por seu colaborador do estado estacionário, Thomas Gold. Quando Gold soube que Pio XII tinha apoiado o Big Bang, sua resposta foi curta e incisiva: “Bem, o papa também apoiou a Terra estacionária”.

Os cientistas estavam alertas quanto às tentativas do Vaticano de influenciar o curso da ciência desde que Urbano VIII forçara Galileu a negar seus pontos de vista em 1633. Contudo essa preocupação às vezes beirava a paranóia, como foi notado pelo Prêmio Nobel inglês George Thomson: “É provável que todo físico acreditasse em uma criação se a Bíblia infelizmente não tivesse dito alguma coisa a esse respeito há muitos anos, fazendo o tema se tornar fora de moda”.

A voz mais importante no debate sobre o papel da teologia na cosmologia talvez tenha sido a do monsenhor Georges Lemaître, co-inventor do modelo do Big Bang e membro da Academia Pontífice de Ciências. Lemaître tinha sólida convicção de que a atividade científica devia continuar isolada da religião. Em relação a sua teoria do Big Bang, ele comentou: “Até onde posso ver, tal teoria permanece fora de qualquer questão metafísica ou religiosa”. Lemaître sempre tivera muito cuidado em manter separadas suas carreiras na cosmologia e na teologia, acreditando que uma o levaria a uma compreensão mais clara do mundo material, e a outra o levaria a um entendimento maior do reino espiritual: “A busca completa pela verdade envolve uma pesquisa nas almas assim como no espectro”. Não surpreende que tenha ficado frustrado e aborrecido com a mistura deliberada de teologia e cosmologia feita pelo papa. Um aluno que viu Lemaître voltar, depois de ouvir o discurs-

so do papa na Academia, lembra que “ele entrou apressado na sala de aula... sua alegria normal totalmente perdida.”

Lemaître estava determinado a desencorajar o papa de fazer declarações sobre a cosmologia, em parte para deter o embaraço que isso estava causando entre os defensores do Big Bang, mas também para evitar potenciais dificuldades para a Igreja. Se o papa — tomado pelo entusiasmo que tinha pelo modelo do Big Bang — apoiasse o método científico e o utilizasse para apoiar a Igreja Católica, então o tiro poderia sair pela culatra se novas descobertas científicas viessem a contradizer os ensinamentos bíblicos. Lemaître entrou em contato com Daniel O’Connell, diretor do Observatório do Vaticano e assessor científico do papa, e sugeriu que, juntos, tentassem persuadir o papa a ficar calado em relação à cosmologia. De modo surpreendente, o papa aceitou a sugestão — e o modelo do Big Bang não seria mais um assunto adequado para discursos papais.

Enquanto os cosmólogos do Ocidente começavam a conseguir separar seu trabalho da influência religiosa, os do Oriente ainda tinham que lidar com não-cientistas tentando influenciar o debate científico. Na União Soviética, a influência não era teológica e sim política, e não era pró-Big Bang mas anti-Big Bang. Os ideólogos soviéticos eram hostis ao modelo do Big Bang porque este não se ajustava aos preceitos da ideologia marxista-leninista. Em especial, não aceitavam nenhum modelo que postulasse um momento de criação, porque criação era sinônimo de Criador. Também consideravam o Big Bang uma teoria ocidental, ainda que Aleksandr Friedmann, em São Petersburgo, tivesse estabelecido seus alicerces.

Andrei Jdanov, que ajudou a coordenar os expurgos stalinistas das décadas de 1930 e 1940, resumiu a posição soviética em relação ao Big Bang: “Falsificadores da ciência querem reviver o conto de fadas da origem do mundo a partir de nada”. Ele procurou e perseguiu aqueles que chamava de “agentes de Lemaître”. Suas vítimas incluíam o astrofísico Nikolai Kozirev, que foi mandado para um campo de trabalhos forçados em 1937 e condenado à morte por continuar a debater sua crença no modelo do Big Bang. Felizmente sua sentença foi comutada para dez anos de prisão quando os oficiais não conseguiram formar um pelotão de fuzilamento. Depois de ape-

los de seus colegas, Kozirev acabou libertado e teve permissão de retomar o seu trabalho no Observatório Pulkovo.

Vsevolod Frederiks e Matvei Bronstein, que também apoiavam o modelo do Big Bang, receberam a mais dura das punições. Frederiks foi aprisionado em uma série de campos de trabalho e morreu depois de seis anos de maus-tratos. Bronstein foi fuzilado depois de ser preso sob acusações forjadas de ser um espião. Ao transformar esses cientistas em exemplos, os soviéticos sufocaram toda a pesquisa cosmológica séria e transmitiram uma mensagem que ecoou durante décadas de comunismo. O astrônomo russo V. E. Lov seguiu a linha do partido ao declarar que o modelo do Big Bang era “um tumor canceroso que corrói a moderna teoria astronômica e é o principal inimigo ideológico da ciência materialista”. E Boris Vorontsov-Veliaminov manteve a solidariedade chamando Gamow de “apóstata americanizado” devido a sua fuga para o Ocidente, afirmando que “ele propõe novas teorias unicamente para fazer sensacionalismo”.

Se a teoria do Big Bang era considerada ciência burguesa, então a teoria do estado estacionário não se saía melhor no grande esquema da ideologia comunista, porque também envolvia a criação, ainda que de modo bem mais gradual e contínuo. Em 1958, Fred Hoyle participou de um encontro da União Astronômica Internacional, em Moscou, e registrou sua reação à tendência política que dominava a ciência soviética: “Imagine o meu espanto, em minha primeira visita à União Soviética, quando os cientistas russos me falaram, com toda a seriedade, que as minhas idéias seriam mais aceitas na Rússia se palavras diferentes fossem usadas. As palavras ‘origem’ ou ‘formação de matéria’ eram consideradas corretas, mas criação era definitivamente proibida na União Soviética”.

O fato de que os políticos e os teólogos estivessem usando a cosmologia para apoiar suas crenças parecia ridículo para Hoyle. Como ele escreveu em 1956, “católicos e comunistas argumentam com um dogma. Uma proposição será considerada ‘certa’ por essas pessoas se for baseada nas premissas ‘certas’ e não porque leve a resultados que estejam de acordo com os fatos. Na verdade, se os fatos discordarem do dogma, então pior para os fatos”.

Mas, a despeito do ponto de vista do papa ou da posição do Kremlin, como os cosmólogos se posicionavam em relação ao debate Big Bang *versus*

estado estacionário? Na década de 1950, a comunidade científica ficou dividida. Em 1959 a *Science News-Letter* fez uma pesquisa e pediu a 33 astrônomos proeminentes que declarassem suas posições. Os resultados mostraram que 11 especialistas apoiavam o modelo do Big Bang, oito defendiam o modelo do estado estacionário e os outros 14 estavam indecisos ou achavam que ambos os modelos estavam errados. Ambos os modelos tinham se estabelecido como sérios candidatos a representar a realidade do universo, mas nenhum conseguira ainda conquistar um apoio majoritário entre os cientistas.

O motivo da falta de consenso era que os indícios a favor e contra os modelos eram inconclusivos e contraditórios. Os astrônomos estavam fazendo observações no limite de sua tecnologia e de sua compreensão, assim os “fatos” deduzidos dessas observações tinham que ser tratados com alto grau de cautela. Por exemplo, cada medição da velocidade de fuga de uma galáxia podia ser chamado de um fato, mas estava aberta à crítica devido à complicada cadeia de lógica e observação em que se respaldava. Primeiro, a medida da velocidade de recessão dependia da detecção dos fracos raios de luz galáctica e de hipóteses sobre como eles eram ou não afetados por sua passagem através do espaço e da atmosfera da Terra. Em segundo lugar, os comprimentos de onda da luz tinham que ser medidos e os átomos galácticos que tinham emitido esta luz, identificados. Em terceiro lugar, era necessário determinar o desvio espectral e então relacionar tal desvio com a velocidade de fuga através do efeito Doppler cosmológico. E, finalmente, os astrônomos tinham que levar em conta os erros inerentes a todos os equipamentos e processos usados, tais como o telescópio, o espectroscópio, a chapa fotográfica e o processo de revelação. Era um conjunto muito complexo de conexões, assim os astrônomos precisavam estar absolutamente confiantes em cada passo. Na verdade, a medição das velocidades de fuga das galáxias era um dos fatos mais certos da cosmologia; a corrente lógica em outras áreas do assunto era ainda mais enrolada e mais aberta à crítica.

Na ausência de evidências conclusivas a favor ou contra o Big Bang e o estado estacionário, muitos cientistas baseavam suas preferências cosmológicas no instinto ou nas personalidades dos defensores dos modelos rivais. Este certamente era o caso de Dennis Sciama, que se tornaria um dos principais cosmólogos do século XX e cuja supervisão inspiraria Stephen Hawking, Roger Penrose e

Martin Rees. O próprio Sciama fora inspirado por Hoyle, Gold e Bondi, a quem considerava, “uma influência excitante para um jovem como eu”.

Sciama também se viu atraído por vários aspectos filosóficos de suas teorias: “O estado estacionário abre a excitante possibilidade de que as leis da física possam de fato determinar o conteúdo do universo, através da exigência de que todas as características deste universo se autopropaguem... A necessidade da autopropagação é assim um poderoso princípio novo, e com sua ajuda podemos vislumbrar, pela primeira vez, a possibilidade de responder a pergunta de por que as coisas são como são, sem dizer apenas: é porque é assim que eram”.

Mais tarde, ele encontraria outro motivo para preferir o estado estacionário ao Big Bang. “É o único modelo no qual parece evidente que a vida vai continuar em algum lugar... mesmo que a galáxia envelheça e morra, sempre existirão novas galáxias jovens onde a vida, presumivelmente, se desenvolverá. E assim a tocha continua a ser levada adiante. Eu acho que provavelmente esse é o item mais importante para mim.”

Os motivos primordialmente subjetivos para Sciama preferir o modelo do estado estacionário eram sintomáticos da incerteza e do tumulto dentro da cosmologia. No início do século XX, a cosmologia era um assunto tranquilo, com uma visão bem estabelecida de um universo eterno e imutável, mas medições e as novas teorias da década de 1920 tinham mostrado que tal posição era bastante insatisfatória. Infelizmente, nenhuma das alternativas emergentes era irrefutável. A cosmologia do estado estacionário era uma versão revisada da visão original de mundo, eterno e estático, mas havia pouca evidência observacional para apoiá-la ou derrubá-la. A cosmologia do Big Bang era mais radical e oferecia uma visão catastrófica do universo, com algumas evidências a favor e outras contra. Dito de modo mais técnico, a cosmologia estava no meio de uma *mudança de paradigma*.

A visão tradicional da história da ciência era de que a compreensão científica se desenvolvia gradualmente, através de uma série de pequenas mudanças, com as teorias estabelecidas sendo aprimoradas ao longo de décadas, e as novas teorias se desenvolvendo a partir das antigas. Isso era a ciência se desenvolvendo através da seleção natural e da evolução darwiniana. As teorias sofriam mutações, e então sobrevivia a mais aceitável, o que significa que a teoria que mais se ajustava às observações seria adotada.

Contudo, o filósofo da ciência Thomas S. Kuhn achava que esta era apenas uma parte da história. Em 1962 ele escreveu *A estrutura das revoluções científicas*, em que descrevia o progresso científico como “uma série de pacíficos interlúdios pontuados por revoluções intelectualmente violentas”. Os pacíficos interlúdios eram períodos durante os quais as teorias evoluíam gradualmente, como já foi descrito. Mas de vez em quando havia a necessidade de uma grande mudança no pensamento, conhecida como mudança de paradigma.

Por exemplo, durante séculos, os astrônomos tinham ajustado o paradigma do modelo de universo com a Terra no centro, acrescentando epiciclos e deferentes para fazer com que o modelo se encaixasse melhor às trajetórias observadas do Sol, das estrelas e dos planetas. Aos poucos surgiram problemas relacionados com a previsão das órbitas planetárias, os quais foram ignorados pela maioria dos astrônomos devido ao conservadorismo e o respeito ao paradigma existente. Finalmente, quando os problemas se acumularam e chegaram a níveis intoleráveis, rebeldes como Copérnico, Kepler e Galileu ofereceram um novo paradigma centrado no Sol. Uma ou duas gerações depois, toda a comunidade de astrônomos tinha abandonado o velho paradigma e adotado o novo. Daí em diante seguiu-se uma nova era de estabilidade científica, com um novo programa de pesquisa montado sobre novos fundamentos e um novo paradigma. O modelo centrado na Terra não evoluiu para o modelo centrado no Sol, ele foi substituído.

A mudança do modelo atômico do pudim de ameixas para o modelo nuclear atômico de Rutherford é outro exemplo de mudança de paradigma, assim como a mudança de um universo cheio de éter, para um outro vazio. Em ambos os casos, a mudança de um paradigma para o outro só podia acontecer depois que o novo paradigma tivesse sido adequadamente desenvolvido e o velho, desacreditado. A velocidade das transições dependia de muitos fatores, incluindo o peso das evidências em favor do novo paradigma e a extensão da resistência oferecida contra ele pela velha guarda. Os velhos cientistas, tendo investido tanto tempo e esforços no velho paradigma, em geral eram os últimos a aceitar a mudança, enquanto os jovens cientistas costumavam ser mais aventureiros e de mente aberta. A mudança de paradigma poderia portanto ser completada somente quando a velha geração se retirasse da vida científica e a nova geração tomasse o seu lugar. O



velho paradigma poderia prevalecer por séculos, assim, um período de transição que dure um par de décadas ainda é comparativamente curto.

A situação na cosmologia era ligeiramente fora do comum, no sentido em que o velho paradigma de um universo eterno e estático já fora desacreditado (porque as galáxias claramente não eram estáticas) e existiam dois novos paradigmas buscando a superioridade, os modelos do estado estacionário e do Big Bang. Os cosmólogos esperavam que esse período de incerteza e conflito terminasse com a descoberta de evidências incontestáveis provando que um dos dois modelos era correto.

De modo a resolver se vivemos no resultado de um Big Bang ou no meio do estado estacionário, os astrônomos teriam de se concentrar em uma série de critérios-chave que eram críticos para os dois modelos em competição. Tais critérios são resumidos na tabela 4, na qual cada um é brevemente avaliado para indicar qual modelo era mais bem-sucedido de acordo com os dados disponíveis em 1950.

Embora não incluía todos os critérios potenciais para distinguir entre os dois modelos, a tabela contém os principais, tais como a capacidade de cada modelo para explicar a abundância dos vários elementos. Julgado em relação a este segundo critério, o modelo do Big Bang ganha um ponto de interrogação devido ao seu relativo sucesso. O modelo do estado estacionário também leva um ponto de interrogação porque não fica claro como a matéria criada entre as galáxias em fuga evoluiu para a abundância atômica que observamos.

Não somente os dois modelos tinham que explicar a formação e a abundância dos vários átomos, como também precisavam explicar como esses átomos tinham se reunido para formar estrelas e galáxias, o terceiro critério na tabela. Essa questão, que não foi discutida em nenhum detalhe nos capítulos anteriores, apresentava um grande problema para o modelo do Big Bang. O universo teria se expandido rapidamente depois do momento da criação, o que tenderia a desfazer qualquer galáxia-bebê que tentasse se formar. Igualmente, como o universo do Big Bang tinha apenas uma história finita, haveria apenas 1 bilhão de anos, mais ou menos, para as galáxias evoluírem — um período relativamente curto. Em outras palavras, ninguém conseguia explicar como as galáxias tinham se formado no contexto do modelo do Big Bang. A teoria do estado estacionário era mais segura nessa questão, porque num universo eterno haveria mais tempo para as galáxias se desenvolverem.

Tabela 4

Esta tabela enumera os vários critérios pelos quais os modelos do Big Bang e do estado estacionário podem ser julgados. Mostra como os dois modelos se saíam com base nos dados disponíveis em 1950. As cruzes e os vês dão uma indicação aproximada do desempenho de cada modelo em relação a cada critério e um ponto de interrogação indica a ausência de dados ou uma mistura de acordo e desacordo. Critérios 4 e 5 receberam pontos de interrogação devido à ausência de observações.

Critério	Modelo do Big Bang	Sucesso
1. Desvio para o vermelho e universo em expansão	Esperado de um universo que foi criado num estado denso e então se expande.	√
2. Abundância de átomos	Gamow e seus colegas mostraram que o Big Bang prevê as proporções observadas de hidrogênio e hélio mas não consegue explicar outras abundâncias atômicas.	?
3. Formação de galáxias	A expansão do Big Bang teria talvez desmanchado as galáxias-bebês antes que elas pudessem crescer; não obstante, as galáxias evoluíram e ninguém podia explicar como.	X
4. Distribuição das galáxias	As galáxias jovens existiram no universo primordial e portanto deveriam ser observadas somente a grandes distâncias, o que, efetivamente, fornece uma janela para o universo primordial.	?
5. Radiação cósmica de fundo em microondas (RCFM)	Este eco do Big Bang ainda devia ser detectável com equipamento sensível o bastante.	?

6. Idade do universo	O universo é aparentemente mais jovem do que as estrelas que contém.	X
7. Criação	Não há explicação para o que causou a criação do universo.	?
<b>Critério</b>	<b>Modelo do estado estacionário</b>	<b>Sucesso</b>
1. Desvio para o vermelho e expansão do universo	Esperado de um universo eterno que se expande, com matéria nova sendo criada nos espaços vazios.	√
2. Abundância de átomos	Matéria é criada entre as galáxias que se afastam, assim, de algum modo, este material pode ser transformado nas abundâncias atômicas que observamos.	?
3. Formação de galáxias	Há mais tempo e nenhuma expansão inicial violenta; isso permite às galáxias se desenvolverem e morrerem, sendo substituídas por novas galáxias formadas da matéria criada.	√
4. Distribuição das galáxias	Galáxias jovens devem aparecer com uma distribuição uniforme, porque podem nascer em qualquer parte e em qualquer tempo da matéria criada entre as galáxias velhas.	?
5. Radiação cósmica de fundo em microondas (RCFM)	Não houve Big Bang e portanto nenhum eco e por isso não podemos detectá-lo.	?
6. Idade do universo	O universo é eterno, assim a idade das estrelas não é problema.	√
7. Criação	Não há explicação para a criação contínua de matéria no universo.	?

As duas colunas que refletem os sucessos e os fracassos específicos dos dois modelos rivais contêm uma mistura de vês, cruces e pontos de interrogação, e nenhuma das duas teorias é completamente satisfatória. Alguém poderia, portanto, imaginar os cosmólogos resolvendo suas diferenças ao aceitar que o modelo do Big Bang podia explicar algumas características do universo e o modelo do estado estacionário, outras. Entretanto, a cosmologia não é um esporte no qual os modelos em competição podem partilhar a glória. Os modelos do Big Bang e do estado estacionário eram contraditórios e incompatíveis num nível fundamental. Um modelo afirmava que o universo era eterno, enquanto o outro afirmava que o universo tinha sido criado, e eles não podiam estar certos simultaneamente. Resumindo que um dos dois modelos era correto, aquele que fosse vitorioso teria que esmagar seu rival.

## **A dificuldade com a escala de tempo**

O problema mais imediato para os defensores do Big Bang era o sexto critério na tabela 4 — A idade do Universo. A cruz marca um absurdo no modelo do Big Bang: o universo seria mais jovem do que as estrelas contidas dentro dele. Isso é tão ridículo quanto uma mãe ser mais jovem do que a filha — certamente as estrelas não poderiam ser mais velhas do que o próprio universo. O capítulo 3 descreveu como Hubble tinha medido a distância até as galáxias e sua velocidade aparente. Os cosmólogos do Big Bang, então, dividiram a distância pela velocidade e deduziram que há aproximadamente 1,8 bilhão de anos toda a massa do universo fora concentrada em um único ponto de criação. Mas a medida da radioatividade das rochas mostrara que a Terra tinha pelo menos 3 bilhões de anos, e era lógico presumir que as estrelas eram ainda mais velhas.

Até mesmo Einstein, que apoiava o Big Bang, admitia que esse problema ia demolir o modelo, a menos que alguém pudesse encontrar uma solução drástica: “A idade do universo... deve certamente exceder a idade da crosta firme da Terra, como foi determinado pelos minerais radioativos. E, como a determinação da idade desses minerais é confiável em todos os aspectos, o

[modelo do Big Bang] será desmentido se for descoberto que contradiz tais resultados. Nesse caso, eu não vejo nenhuma solução razoável”.

A discrepância em relação à idade ficou conhecida como *dificuldade na escala de tempo*, uma frase que não reflete verdadeiramente o imenso embaraço que causava ao modelo do Big Bang. A única perspectiva real de resolver o paradoxo da idade era a descoberta de um erro nas medições anteriores, ou das distâncias das galáxias ou de suas velocidades. Por exemplo, se as distâncias das galáxias fossem maiores do que as estimativas de Hubble, então teria levado mais tempo para que chegassem a suas distâncias atuais, o que significaria um universo mais velho. De outro modo, se as velocidades de recessão das galáxias fossem menores do que as estimativas de Hubble, então, de novo, as galáxias teriam levado mais tempo para atingir suas distâncias atuais, e outra vez isso significaria um universo mais velho. Hubble, todavia, era o astrônomo observacional mais respeitado de todo o mundo, famoso por sua precisão e dedicação, assim, ninguém duvidava seriamente da acuidade de suas observações. Além disso, suas medições tinham sido verificadas, de modo independente, por outros.

Quando os Estados Unidos entraram na Segunda Guerra Mundial, a astronomia observacional e as atividades dos principais observatórios foram interrompidas. Qualquer projeto para tentar resolver o debate Big Bang *versus* estado estacionário foi adiado enquanto os astrônomos se dedicavam a servir o seu país. Até mesmo Hubble, que estava na faixa dos cinquenta anos, deixou Monte Wilson para se tornar diretor de balística no campo de provas de Aberdeen, em Maryland, o mais alto posto civil fora da capital, Washington.

A única pessoa graduada a permanecer em Monte Wilson foi Walter Baade, um imigrante alemão que tinha entrado para a equipe do observatório em 1931. Apesar de viver e trabalhar nos Estados Unidos há uma década, ele ainda estava sob suspeita, e foi proibido de participar de qualquer grupo de pesquisa militar. Do ponto de vista de Baade, a situação era muito satisfatória, porque sugeria que teria o uso exclusivo do prestigioso telescópio Hooker, de cem polegadas. Além disso, os blecautes do tempo de guerra interrompiam a aborrecida poluição luminosa dos subúrbios de Los Angeles, melhorando as condições de observação até um nível inigualado desde que o

telescópio fora construído, em 1917. O único problema era a condição de Baade como estrangeiro inimigo, o que significava que ele ficaria confinado a sua casa do pôr-do-sol até a alvorada, o que não era ideal para um astrônomo. Baade explicou às autoridades que já tinha iniciado o processo para requerer a cidadania americana, e acabou por convencê-los de que não era um risco para a segurança. Continuava proibido de fazer pesquisas militares, mas em poucos meses seu toque de recolher foi cancelado e Baade teve o controle completo do melhor telescópio do mundo nas condições ideais de observação. Também aproveitou ao máximo as chapas fotográficas cada vez mais sensíveis que estavam se tornando disponíveis, criando imagens de nitidez incomparável.

Baade passou os anos da guerra estudando um tipo especial de estrelas conhecidas como *RR Lyrae*, um tipo de estrela variável semelhante às cefeidas. Williamina Fleming, que trabalhara junto com Henrietta Leavitt no Observatório de Harvard, mostrara que a variabilidade das estrelas *RR Lyrae* poderia ser usada para medir distâncias, como no caso das cefeidas. Até então sua técnica fora usada apenas dentro da Via Láctea, porque as estrelas *RR Lyrae* são menos luminosas do que as cefeidas. Contudo, a ambição de Baade era usar as condições ideais de observação para encontrar estrelas *RR Lyrae* na galáxia de Andrômeda, que é a grande galáxia mais próxima de nós. Desse modo ele poderia usar a variabilidade das *RR Lyrae* para medir a distância até Andrômeda e conferir as medições anteriores, baseadas nas variáveis cefeidas.

Todavia, Baade logo percebeu que as estrelas *RR Lyrae* de Andrômeda estavam além do alcance do telescópio Hooker de cem polegadas. Assim, ele teve que se contentar em usar o instrumento de cem polegadas para fazer o trabalho básico a respeito dessas estrelas situadas na Via Láctea, preparando-se para as observações que seriam feitas com o telescópio de duzentas polegadas, a ser completado quando a guerra terminasse. Ele estava otimista no sentido de que o novo telescópio gigante permitiria ver claramente as estrelas *RR Lyrae* de Andrômeda.

O telescópio de duzentas polegadas, o maior projeto de engenharia astronômica de George Hale, estava sendo construído em Monte Palomar, duzentos quilômetros a sudoeste de Monte Wilson. Hale morreu em 1938,

só dois anos depois de começada a construção, assim, nunca chegou a ver a visão mais espetacular do universo já conseguida. Quando o instrumento foi finalmente terminado, foi chamado de telescópio Hale em sua homenagem.

No dia 3 de junho de 1948, os famosos de Los Angeles participaram da inauguração do telescópio. Eles ficaram maravilhados com a cúpula giratória de mil toneladas que alojava o gigantesco instrumento, e seu espelho côncavo polido até uma precisão de cinquenta milionésimos de milímetro. Quando perguntaram a Charles Laughton, astro de *O grande motim*, se achava o telescópio Hale inspirador, ele respondeu: “Inspirador? Caramba! É assustador! O que eles vão fazer com ele? Começar uma guerra com Marte?”

Quando o telescópio Hale ficou completamente operacional, os dois observatórios, Monte Wilson e Monte Palomar, tinham de novo toda a sua equipe de pesquisadores. Apesar disso, Baade ainda estava na dianteira da pesquisa das RR Lyrae na galáxia de Andrômeda, graças ao seu trabalho durante a Segunda Guerra Mundial, quando tivera o telescópio de cem polegadas só para ele. Imediatamente ele apontou o novo telescópio de duzentas polegadas para a galáxia de Andrômeda e a esquadrinhou à procura de estrelas fracas, com uma rápida variação de brilho, o que seria um indicador de estrelas do tipo RR Lyrae.

Depois de um mês de pesquisas meticulosas, ele ainda não tinha encontrado nenhum sinal das RR Lyrae que esperava ver. Insistiu mas não conseguiu achar o que deveria ser visível através do telescópio Hale. Ficou intrigado. Sabia que sua capacidade de ver as RR Lyrae na galáxia de Andrômeda só dependia de três coisas — o brilho das estrelas, o poder do telescópio de duzentas polegadas e a distância até a galáxia —, e seus cálculos mostravam que as estrelas deviam ser visíveis. Sem saber o que estava provocando o seu fracasso, ele reviu os três fatores que determinavam sua capacidade de ver: ele estava certo do brilho das RR Lyrae devido a sua pesquisa durante a guerra, e tinha certeza de compreender o poder de seu telescópio... assim, seria possível que a distância até Andrômeda fosse muito maior do que se presumia?

Baade ficou convencido de que um erro na distância aceita da galáxia de Andrômeda era a única explicação possível e lógica. Seus colegas inicialmen-

te ficaram céticos, mas foram persuadidos de que Baade estava certo quando ele conseguiu determinar exatamente como e por que ocorrera um erro na medição da distância de Andrômeda.

Como foi explicado no capítulo 3, a medição original da distância fora feita usando as estrelas variáveis cefeidas, que tinham se tornado o marco básico para a medição de distâncias intergalácticas. Henrietta Leavitt tinha mostrado que as cefeidas tinham a propriedade útil de que o período de tempo entre dois picos de luminosidade era uma excelente indicação de sua luminosidade inerente, que podia ser comparada com sua luminosidade aparente para determinar sua distância da Terra. Hubble fora o primeiro a encontrar cefeidas fora da Via Láctea, e com isso medira a distância até outra galáxia, no caso a galáxia de Andrômeda.

Contudo, na década de 1940, estava se tornando evidente que a maioria das estrelas pode ser agrupada em duas amplas categorias chamadas *populações*. As estrelas mais velhas pertencem à população II, e, depois que essas estrelas morrem, seus resíduos se tornam os ingredientes para as novas e mais jovens estrelas de população I, que são geralmente mais quentes, mais brilhantes e mais azuladas do que suas equivalentes da população II. Baade presumiu que as cefeidas também estavam divididas nessas duas categorias, e sugeriu que esse era o motivo subjacente às contradições em relação a distância até a galáxia de Andrômeda.

O argumento de Baade, de que Andrômeda estava muito mais distante, era baseado em duas etapas simples. Primeiro, as cefeidas de população I são intrinsecamente mais brilhantes do que as cefeidas da população II, que têm o mesmo período de variação. E, segundo, os astrônomos tinham a tendência de ver apenas as cefeidas mais brilhantes, de população I, na galáxia de Andrômeda, mas, inadvertidamente, tinham montado sua escala de distância de cefeidas usando as estrelas mais fracas, de população II, encontradas na Via Láctea.

Sem saber que existiam dois tipos de cefeidas, Hubble cometera o erro de comparar as fracas, cefeidas locais de população II, com as cefeidas relativamente brilhantes da população I de Andrômeda. E a consequência disso é que ele erradamente estimara que a galáxia estava mais próxima do que na verdade.



Para corrigir o erro, Baade cuidadosamente recalibrou o padrão de medida de acordo com os dois tipos de cefeidas. Desse modo, ele poderia estimar corretamente a distância das cefeidas na galáxia de Andrômeda e portanto a distância da própria galáxia. Ele concluiu que as cefeidas da população I são, em média, quatro vezes mais luminosas do que as cefeidas da população II, que têm o mesmo período de variação. Convenientemente, se uma estrela for afastada para o dobro da distância, a um observador ela vai parecer quatro vezes mais fraca. Portanto, a galáxia de Andrômeda tinha que ser colocada duas vezes mais distante — a uma distância de aproximadamente 2 milhões de anos-luz — para compensar o fato de que as cefeidas de população I, visíveis em Andrômeda, eram, em média, quatro vezes mais brilhantes do que as cefeidas de população II, tradicionalmente usadas para a medição de distâncias. A distância até Andrômeda agora fora corrigida. E, a uma distância de 2 milhões de anos-luz, não era mais surpreendente que as estrelas RR Lyrae fossem muito fracas para serem vistas.

Se o ajuste da distância de Andrômeda fosse a única consequência do trabalho de Baade, ele receberia apenas uma breve menção neste livro. Contudo, a distância até Andrômeda fora usada para estimar as distâncias até as outras galáxias, usando um método que será discutido dentro em pouco. Portanto, dobrar a distância até Andrômeda significava dobrar as distâncias das outras galáxias.

E, no entanto, as estimativas das velocidades de recessão das galáxias permaneciam as mesmas, já que derivavam da espectroscopia e dos desvios para o vermelho, que não tinham sido afetados pela pesquisa de Baade. Isso tinha um grande impacto positivo no modelo do Big Bang. Se as distâncias tinham dobrado, mas as velocidades permaneciam as mesmas, então o tempo transcorrido para que todas as galáxias chegassem a suas distâncias atuais, desde o momento de criação, também teria dobrado. Em outras palavras, a idade do universo no modelo do Big Bang agora teria que ser revista, subindo para 3,6 bilhões de anos, um número que não era mais incompatível com a idade da Terra.

Críticos do modelo do Big Bang lembraram que as estrelas e as galáxias eram mais velhas do que a Terra e, portanto, provavelmente mais antigas do que 3,6 bilhões de anos, o que significava que o universo ainda parecia con-

ter objetos mais velhos do que ele mesmo. Assim, esses críticos afirmaram que a chamada dificuldade com a escala de tempo ainda era um problema. Mas os defensores do Big Bang não se incomodaram com essa observação perfeitamente válida, porque a pesquisa de Baade tinha demonstrado que ainda restava um bocado a ser aprendido sobre a medição de distâncias galácticas e a idade do universo. Ele tinha encontrado um erro, e dobrara a idade do universo, assim, era bem possível que outro erro fosse encontrado, e talvez a idade dobrasse de novo.

A descoberta de Baade dera um grande passo no sentido de fixar um grande defeito no modelo do Big Bang, mas, o que era mais importante, tinha destacado uma fragilidade em toda a astronomia — o hábito da obediência cega. Devido à reputação de Hubble, os astrônomos, durante muito tempo, aceitaram sem hesitação a sua declaração quanto à distância a Andrômeda e outras galáxias. Deixar de questionar e desafiar essas declarações fundamentais, mesmo quando feitas por autoridades eminentes, é uma das características fundamentais da ciência pobre.

Muitos anos depois, e inspirado pelo erro na distância de Andrômeda, o astrônomo canadense Donald Fernie destacaria essa característica indesejável da obediência na ciência: “Ainda falta ser escrito o estudo definitivo sobre o instinto de manada dos astrônomos. Mas há ocasiões que não parecemos outra coisa senão uma manada de antílopes, as cabeças baixas em formação cerrada, trovejando com firme determinação em uma dada direção através da planície. A um dado sinal do líder, viramos e, com uma determinação igualmente firme, trovejamos em uma direção bem diferente, ainda em formação paralela”.

Baade anunciou formalmente que o universo era duas vezes mais antigo do que se acreditava ao comparecer ao encontro de 1952, da União Astronômica Internacional, em Roma. Entre os presentes no salão, aqueles que apoiavam o modelo do Big Bang imediatamente perceberam que essa nova medição respaldava sua crença em um momento de criação — ou pelo menos removia um obstáculo importante. Por um golpe do destino, o anotador oficial daquela sessão era Fred Hoyle, o maior crítico do Big Bang. Ele anotou o resultado, mas sua profunda crença em um universo eterno o obrigou a escolher as palavras de modo a evitar, cuidadosamente, qualquer referên-

cia ao Big Bang ou à criação. Ele escreveu: “A escala de tempo de Hubble para o universo agora deve aumentar de cerca de 1,8 bilhão de anos para cerca de 3,6 bilhões de anos”.

A única pessoa mais desapontada do que Hoyle com o resultado era Edwin Hubble. Sua frustração não estava de forma alguma relacionada ao fato de o Big Bang ser verdadeiro ou falso, pois ele nunca se preocupara com essas questões cosmológicas. Hubble se preocupava somente com a precisão de suas medidas, não com as interpretações ou teorias feitas em cima delas. Conseqüentemente, ficou arrasado porque Baade tinha encontrado um grande defeito em suas medições de distância.

Enquanto pensava no significado das novas medições de Baade, Hubble sentiu um toque de amargura. Apesar dos muitos prêmios nacionais e internacionais que ganhou, ele sempre lamentou nunca ter sido honrado com um Prêmio Nobel, que sempre foi seu objetivo final. E, agora que Baade tinha destacado um erro em seu trabalho, parecia que o Nobel ficaria para sempre fora do seu alcance.

Na verdade, o comitê de física do Nobel não tinha dúvidas de que Hubble era o maior astrônomo de sua geração, e a pesquisa de Baade não manchara a reputação do grande homem aos olhos do comitê. Afinal, Hubble tinha resolvido o Grande Debate em 1923 ao provar a existência de galáxias além da Via Láctea e havia estabelecido os fundamentos para o debate entre Big Bang *versus* estado estacionário com sua lei dos desvios para o vermelho das galáxias em 1929. O único motivo pelo qual a Fundação Nobel o ignorara é que eles nunca tinham considerado a astronomia como parte da física. Hubble perdeu o prêmio por uma questão técnica.

Hubble tinha que se satisfazer com o aplauso que recebera do público e da imprensa, que adorava seu herói cósmico e elogiava suas conquistas. Como disse um jornalista: “Enquanto Colombo velejou 3 mil milhas e descobriu um continente e algumas ilhas, Hubble atravessou o espaço infinito e descobriu centenas de imensos novos mundos, ilhas, subcontinentes e constelações não apenas a alguns milhares de milhas de distância, mas a trilhões de milhas”.

Hubble morreu de uma trombose cerebral no dia 28 de setembro de 1953. Tragicamente, ele não sabia que o comitê de física do Nobel decidira,

em segredo, mudar suas regras e reconhecer suas realizações com um Prêmio Nobel. De fato, o comitê estava se preparando para fazer o anúncio de sua nomeação quando Hubble morreu.

O prêmio não pode ser concedido postumamente, e o protocolo ditava que as discussões do comitê deveriam permanecer confidenciais. Assim, a nomeação de Hubble teria permanecido em segredo se dois membros do comitê, Enrico Fermi e Subrahmanyan Chandrasekhar, não tivessem decidido contatar Grace Hubble. Eles estavam ansiosos para que Grace ficasse sabendo que a contribuição inigualada de seu marido para nossa compreensão do universo não fora desprezada.

### **Mais fracas, mais distantes, mais velhas**

Ao questionar e depois corrigir a distância aceita para a galáxia de Andrômeda, Walter Baade lembrara aos colegas que as medições passadas deviam ser desafiadas e revistas, e então abandonadas se fossem incorretas. Essa era uma parte essencial de um clima científico saudável. Só quando as medições tivessem sido verificadas, checadas duas ou três vezes, poderiam merecer o título de “fato”; e ainda assim uma nova medição rebelde não faria mal algum.

Essa cultura da dúvida e da crítica foi até mesmo aplicada às medições de distância de Baade. De fato, foi o próprio aluno de Baade, Allan Sandage, que revisaria as medições de seu mestre, aumentando de novo a idade do universo.

Sandage, como muitos de seus colegas, fora fisgado pela astronomia desde a primeira vez que olhara através de um telescópio. Ele nunca esqueceu aquele momento de sua infância quando “uma tempestade de fogo aconteceu em meu cérebro”. Ele conseguiu um trabalho de doutorado no Observatório de Monte Wilson trabalhando junto com Baade, que lhe pediu que fizesse novas imagens das galáxias mais distantes já observadas. Baade queria simplesmente que Sandage checasse se as estimativas de distância estavam corretas.

Os astrônomos não podiam usar a técnica do padrão das cefeidas para medir a distância das galáxias mais remotas, porque era impossível detectar estrelas variáveis cefeidas tão distantes. Em vez disso, foram forçados a adotar uma técnica de medição completamente diferente, que dependia da suposição razoável de que a estrela mais brilhante na galáxia de Andrômeda fosse intrinsecamente tão brilhante quanto a estrela mais brilhante de qualquer outra galáxia. Portanto, se a estrela mais brilhante em uma galáxia distante tinha  $1/100$  ( $1/10^2$ ) do brilho da mais brilhante estrela de Andrômeda, então se presumia que a galáxia distante estava dez vezes mais distante porque o brilho diminui com o quadrado da distância.

Embora o brilho das estrelas varie enormemente, esse método de medir distâncias era razoável. A altura de uma pessoa também varia muito. Contudo, em um grupo de cinquenta adultos, selecionado ao acaso, será razoável presumir que a pessoa mais alta terá em torno de 1,90 metro de altura. Portanto, se houver dois grandes grupos de pessoas à distância, e a pessoa mais alta em um grupo tiver um terço da altura da pessoa mais alta no outro, então será razoável supor que o primeiro grupo está três vezes mais longe que o segundo. Isso porque a pessoa mais alta em ambos os grupos deve ter uma altura aproximadamente igual, e a altura aparente diminui com a distância. Esse método não é perfeito, um dos grupos pode estar a caminho de um campeonato de basquete e o outro pode estar a caminho de uma manifestação pelos direitos dos jogadores. Mas, na maioria dos casos, contudo, a estimativa de distância deve ser precisa dentro de uma certa porcentagem.

A técnica seria mais precisa se fosse tomada a altura média das pessoas, ou o brilho médio das estrelas, mas os astrônomos estavam estudando objetos tão distantes que eram forçados a aplicar a técnica da estrela mais brilhante em cada galáxia, que era o que mais provavelmente iriam ver. Os astrônomos usavam essa técnica desde a década de 1940 e estavam certos de que era confiável, embora estivessem preparados para aceitar que as distâncias poderiam precisar, ocasionalmente, de uma calibração, motivo pelo qual Baade pediu a Sandage para checar suas estimativas. De fato, Sandage revelaria que o método da estrela mais brilhante tinha uma falha fundamental.

Graças aos aperfeiçoamentos nas fotografias, Sandage pôde ver que aquilo que fora percebido, repetidas vezes, como a estrela mais brilhante de uma galáxia distante era de fato algo bem diferente. Grande parte do hidrogênio no universo se condensou para formar as estrelas compactas, familiares, mas também existe uma quantidade significativa na forma de vastas nuvens conhecidas como regiões HII. Uma região HII absorve a luz das estrelas ao seu redor e se aquece até mais de 10 mil graus Celsius. E, devido a essa temperatura e tamanho, uma região HII pode brilhar mais do que qualquer estrela.

Antes de Sandage, os astrônomos tinham acidentalmente, e de modo incorreto, comparado a estrela mais brilhante visível na galáxia de Andrômeda com a região HII mais brilhante nas galáxias mais distantes, e recentemente descobertas. Pensando que as regiões HII eram estrelas, os astrônomos tinham presumido que essas novas galáxias estavam relativamente próximas porque suas “estrelas” mais brilhantes pareciam comparativamente brilhantes. Quando Sandage obteve imagens nítidas o suficiente para distinguir essas regiões HII das estrelas genuínas, concluiu que essas estrelas mais brilhantes eram muito mais fracas que as regiões HII. E, assim, as galáxias estavam mais longe do que fora previamente estimado.

E o afastamento dessas galáxias distantes era absolutamente crítico em termos de estimativa da idade do universo, de acordo com o modelo do Big Bang. Em 1952, Baade tinha dobrado as distâncias galácticas e, ao fazer isso, dobrara a idade do universo para 3,6 bilhões de anos. Então, dois anos depois, Sandage empurrou as galáxias para mais longe, aumentando a idade do universo para 5,5 bilhões de anos.

Apesar desses aumentos, as medições ainda faziam subestimativas. Sandage continuou a trabalhar nas suas medições de distância durante toda a década de 1950 e as distâncias e a idade resultante continuaram a aumentar. De fato, Sandage se tornaria a figura dominante na medição de distâncias e da idade do universo. Graças às suas observações acabou ficando claro que o universo tinha entre 10 e 20 bilhões de anos. Esse amplo espectro era certamente compatível com outros objetos no universo. Os defensores do estado estacionário não podiam mais zombar do pessoal do Big Bang por postular um universo mais jovem do que as estrelas nele contidas.



## **Alquimia cósmica**

Embora a dificuldade com a escala de tempo tivesse sido resolvida, o modelo do Big Bang ainda sofria de outros problemas. O principal tinha relação com a nucleossíntese, especificamente a criação de elementos mais pesados. George Gamow se gabara, certa vez, de que “os elementos foram cozidos em menos tempo do que o necessário para preparar uma refeição de pato com batatas coradas”. Em suma, ele acreditava que todos os vários núcleos atômicos tinham sido criados na hora imediatamente posterior ao Big Bang. Contudo, apesar de todos os esforços de Gamow, Alpher e Herman, fora impossível encontrar um mecanismo capaz de criar alguma coisa além dos átomos mais leves, tais como o hidrogênio e o hélio, ainda que o período posterior ao Big Bang fosse de calor intenso. E, se os elementos pesados não tinham sido criados nos momentos imediatamente posteriores ao Big Bang, então o problema era claro: onde e quando tinham sido criados?

Arthur Eddington já tinha apresentado uma possível teoria para a nucleossíntese: “Acho que as estrelas são os cadinhos onde os átomos leves são fundidos para formar os elementos mais complexos”. Contudo, a temperatura das estrelas fora estimada como sendo de alguns milhares de graus na superfície e alguns milhões de graus no núcleo. Tal temperatura era por certo suficiente para transformar o hidrogênio em hélio lentamente, mas era inadequada para fundir esses núcleos de hélio em elementos verdadeiramente pesados, o que exigiria uma temperatura de alguns bilhões de graus.

Para criar átomos de neônio, por exemplo, seria necessário uma temperatura de 3 bilhões de graus, e, para os átomos mais pesados do silício, uma temperatura ainda mais alta, de 13 bilhões de graus. E isso leva a outro problema. Se existisse um ambiente capaz de criar neônio, não seria quente o suficiente para criar silício. E, de outro modo, se fosse quente o bastante para criar silício, então todo o neônio teria sido convertido em alguma coisa mais pesada. Parecia que cada tipo de átomo exigia seu próprio cadinho especial, e o universo teria que conter uma vasta gama de ambientes inten-



sos. E, além disso, ninguém era capaz de determinar onde, ou mesmo se esses cadinhos existiam.

Seria Fred Hoyle quem mais contribuiria para resolver tal mistério. Ele não via o problema da nucleossíntese como uma questão da controvérsia Big Bang *versus* estado estacionário, e sim uma questão a ser abordada pelas duas teorias. O modelo do Big Bang tinha que explicar, de algum modo, como as partículas fundamentais, no início do universo, tinham sido transformadas em átomos pesados de abundância variável. De modo semelhante, o modelo do estado estacionário tinha que explicar como as partículas, sendo criadas continuamente no espaço entre as galáxias, eram convertidas em átomos mais pesados. Hoyle pensava no problema da nucleossíntese desde que era um pesquisador iniciante, mas só deu os primeiros passos incertos em direção à solução no final da década de 1940. Ele começou a fazer progressos quando especulou sobre o que aconteceria com uma estrela quando passasse pelas várias fases de sua vida.

Uma estrela de meia-idade é geralmente estável, gerando energia através da fusão do hidrogênio em hélio e perdendo calor ao irradiar energia luminosa. Ao mesmo tempo, toda a massa da estrela está sendo puxada para dentro por sua própria atração gravitacional, mas isso é contrabalançado pela imensa pressão para fora causada pelas altas temperaturas no núcleo da estrela. Como foi discutido no capítulo 3, tal equilíbrio estelar é semelhante ao equilíbrio de forças agindo sobre um balão, onde a pele de borracha esticada tenta fazer o balão encolher para o centro, enquanto o ar dentro do balão exerce a pressão que a empurra para fora. Tal analogia foi usada para explicar por que as estrelas cefeidas são variáveis.

Hoyle estava bem familiarizado com a pesquisa teórica que fora feita sobre as estrelas e o equilíbrio entre a ameaça do colapso gravitacional e a resistência à pressão para fora, mas queria saber o que aconteceria quando tal equilíbrio fosse rompido. Em especial, Hoyle queria entender o que aconteceria no final da vida da estrela, quando seu combustível de hidrogênio começasse a esgotar-se. Como era de se prever, a escassez de combustível faria a estrela começar a esfriar. A queda na temperatura resultaria em uma

queda da pressão para fora, e a força gravitacional se tornaria dominante, iniciando a contração da estrela. Mas o que foi crucial é que Hoyle compreendeu que tal contração não seria o final da história.

À medida que toda estrela decaísse para dentro de si mesma, a compressão aqueceria o núcleo estelar, gerando um aumento da pressão para fora, que interromperia o colapso. O aumento de temperatura associado com a compressão teria várias causas, mas uma delas é que a compressão encoraja mais reações nucleares, resultando na geração de mais calor.

Embora esse calor extra fosse capaz de restabelecer algum nível de estabilidade na estrela, seria apenas algo temporário; a morte da estrela teria sido apenas adiada. A estrela continuaria a consumir mais combustível e por fim esse suprimento de combustível cada vez menor se tornaria crítico. Falta de combustível significa falta de produção de energia, assim o núcleo começaria a esfriar de novo, o que levaria a outra fase de colapso. De novo, isso aqueceria o núcleo, voltando a deter o colapso até a próxima escassez de combustível. Tal colapso intermitente significa que muitas estrelas sofrem de uma morte lenta e agonizante.

Hoyle partiu para analisar os vários tipos de estrelas (pequenas, médias, grandes, população I e população II), e, depois de vários anos de pesquisa dedicada, completou com sucesso os seus cálculos de todas as mudanças de temperatura e pressão que aconteceriam em diferentes estrelas à medida que se aproximassem do final de suas vidas. E, o que era mais importante, ele também calculou as reações nucleares de cada espasmo de morte e mostrou como as várias combinações de temperaturas e pressões extremas levariam à criação de toda a tabela de núcleos atômicos de pesos médio e grande, como mostrado na tabela 5.

Tornou-se evidente que cada tipo de estrela poderia agir como um cadinho para criar vários elementos diferentes, porque o interior estelar mudava drasticamente ao longo da vida e da morte da estrela. Os cálculos de Hoyle até mesmo explicavam a abundância exata de quase todos os elementos que vemos hoje em dia, mostrando por que o oxigênio e o ferro são comuns enquanto o ouro e a platina são raros.

Tabela 5

Fred Hoyle calculou as condições nas diferentes estrelas, em estágios diferentes de suas vidas, para ver como a nucleossíntese poderia acontecer. Esta tabela mostra as reações de nucleossíntese que acontecem em uma estrela com aproximadamente 25 vezes a massa do Sol. Esta estrela pesada tem um tempo de vida notavelmente curto comparado com as estrelas típicas. De início a estrela passa milhões de anos fundindo hidrogênio em hélio. As temperaturas e pressões aumentam nas fases posteriores de sua vida, e isso permite a nucleossíntese de oxigênio, magnésio, silício, ferro e outros elementos. Uma variedade de átomos mais pesados é gerada nos estágios finais e mais intensos.

Estágio	Temp (°C)	Densidade (g/cm <sup>3</sup> )	Duração do estágio
Hidrogênio → hélio	$4 \times 10^7$	5	$10^7$ anos
Hélio → carbono	$2 \times 10^8$	$7 \times 10^2$	$10^6$ anos
Carbono → neônio + magnésio	$6 \times 10^8$	$2 \times 10^3$	600 anos
Neônio → oxigênio + magnésio	$1,2 \times 10^9$	$5 \times 10^3$	1 ano
Oxigênio → enxofre + silício	$1,5 \times 10^9$	$1 \times 10^7$	6 meses
Silício → ferro	$2,7 \times 10^9$	$3 \times 10^7$	1 dia
Colapso do núcleo	$5,4 \times 10^9$	$3 \times 10^{11}$	0,25 segundo
Ressalto do núcleo	$23 \times 10^9$	$4 \times 10^{14}$	0,001 segundo
Explosiva	cerca de $10^9$	varia	10 segundos

Em casos excepcionais, a fase inicial de colapso de uma estrela muito maciça se torna irreversível e a estrela morre bem rápido. Trata-se de uma supernova, o exemplo mais violento de morte estelar, que causa uma implosão de intensidade inigualável. Quando se torna uma supernova, uma única estrela pode liberar energia suficiente para brilhar mais que 10 bilhões de estrelas comuns (é por isso que uma supernova confundiu os astrônomos envolvidos no Grande Debate, como foi discutido antes, no capítulo 3). Hoyle mostrou que as supernovas criam os ambientes estelares mais extremos, e assim permitem que reações nucleares raras aconteçam, produzindo portanto os núcleos atômicos mais pesados e exóticos.

Um dos resultados mais importantes da pesquisa de Hoyle foi que a morte de uma estrela não marca o fim do processo de nucleossíntese. À medida que implode, a estrela envia maciças ondas de choque, que produzem uma ex-

plosão, lançando átomos através do universo. E, o que é importante, alguns desses átomos são os produtos das reações nucleares que aconteceram nas fases finais da vida da estrela. Esses resíduos estelares se combinam com o que quer que esteja flutuando no cosmos, incluindo átomos de outras estrelas mortas, e por fim se condensam para formar estrelas completamente novas. Essas estrelas de segunda geração começam com uma vantagem em termos de nucleossíntese, porque já contêm alguns átomos pesados. Isso significa que, quando morrerem e implodirem, irão construir átomos ainda mais pesados. Acredita-se que nosso Sol seja uma estrela de terceira geração.

Marcus Chown, autor de *The magic furnace*, descreveu o significado da alquimia estelar como se segue: “Para que possamos viver, estrelas aos bilhões, dezenas e centenas de bilhões tiveram que morrer. O ferro em nosso sangue, o cálcio em nossos ossos, o oxigênio que enche nossos pulmões cada vez que respiramos — todos foram cozidos nas fornalhas de estrelas que morreram muito antes que a Terra tivesse nascido”. Os românticos podem gostar de pensar em si mesmos como feitos de poeira das estrelas. Os céticos podem preferir imaginar que somos lixo nuclear.

Hoyle tinha abordado um dos maiores enigmas da cosmologia e encontrado uma solução quase completa, mas restava um problema. A tabela 5 mostra a corrente de nucleossíntese de um tipo particular de estrela: hidrogênio se converte em hélio, então o hélio em carbono e o carbono em todos os elementos mais pesados. Embora a tabela mostre explicitamente o hélio dando origem à fase do carbono, Hoyle não conseguia de fato determinar como isso acontecia. Até onde ele podia ver, não existia caminho nuclear viável para transformar o hélio em carbono. Esse era um grande problema porque, a menos que pudesse explicar a formação do carbono, ele não poderia explicar como todas as outras reações nucleares aconteciam, porque todas elas exigiam o carbono em algum ponto da corrente que levava a sua criação. E esse era um problema com todos os tipos de estrelas — simplesmente não havia meio de transformar o hélio em carbono.

Hoyle deparara com a mesma barreira que tinha detido o progresso de Gamow, Alpher e Herman em direção à explicação de como o hélio se convertera nos outros elementos pesados nos momentos iniciais do Big Bang. Você deve lembrar que a equipe de Gamow descobrira que qualquer reação

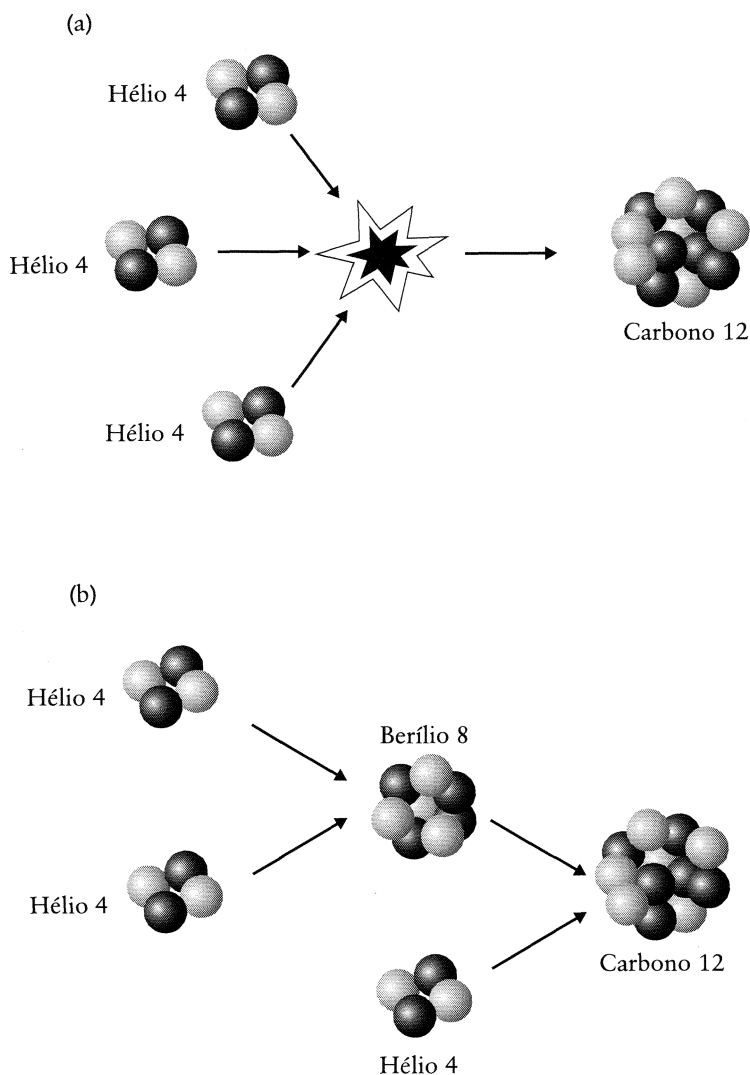
nuclear pelo qual o hélio passasse produziria apenas núcleos instáveis. Acrescentar um núcleo de hidrogênio a um núcleo de hélio produzia o instável núcleo de lítio 5; e unir dois núcleos de hélio criaria um instável núcleo de berílio 8. Parecia que a natureza conspirara para bloquear os dois únicos caminhos que poderiam transformar núcleos de hélio em núcleos pesados, sobretudo o carbono. A não ser que esses dois obstáculos pudessem ser contornados, o problema de construir núcleos mais pesados minaria toda a visão de Hoyle da nucleossíntese estelar. Sua expectativa de explicar a rica variedade de elementos se dissolveria.

A equipe de Gamow não conseguira resolver esse problema no contexto da nucleossíntese do Big Bang, e Hoyle não podia resolvê-lo no contexto da nucleossíntese estelar. Transformar hélio em carbono parecia impossível. Mas Hoyle se recusou a desistir da esperança de encontrar um caminho viável para a produção do carbono. Todas as reações nucleares complexas que ele previra dentro das estrelas moribundas dependiam da existência de carbono, assim ele se dedicou a resolver o mistério de como o carbono era formado.

A forma mais comum de carbono é conhecida como carbono-12, porque seu núcleo contém 12 partículas, seis prótons e seis nêutrons. A forma mais comum de hélio é conhecida como hélio 4, porque seu núcleo contém quatro partículas, dois prótons e dois nêutrons. O problema de Hoyle podia ser resumido a uma questão direta: existe um mecanismo viável para transformar três núcleos de hélio em um núcleo de carbono?

Uma possibilidade era três núcleos de hélio colidirem simultaneamente e formarem um núcleo de carbono. Uma ótima idéia, mas impossível na prática. As chances de três núcleos de hélio estarem exatamente no mesmo lugar, ao mesmo tempo e viajando nas velocidades certas para se fundirem eram efetivamente nulas. O caminho alternativo era dois núcleos de hélio se unirem para formar o núcleo de berílio 8, com quatro prótons e quatro nêutrons, e então, mais tarde, esse núcleo de berílio 8 se fundiria com outro núcleo de hélio para formar o carbono. Tal caminho e o da colisão de três hélios estão ilustrados na figura 88.

Entretanto, o berílio 8 é muito instável, motivo pelo qual ele já fora considerado por Gamow como um obstáculo na trilha para construir nú-



**Figura 88** O diagrama (a) ilustra uma possível rota nuclear do hélio para o carbono, que exige que três núcleos de hélio colidam simultaneamente. Isso é muito improvável. O segundo caminho, mostrado no diagrama (b), exige a colisão de dois núcleos de hélio para formar o berílio. Por sua vez, o núcleo de berílio colide e se funde com outro núcleo de hélio para formar o carbono.

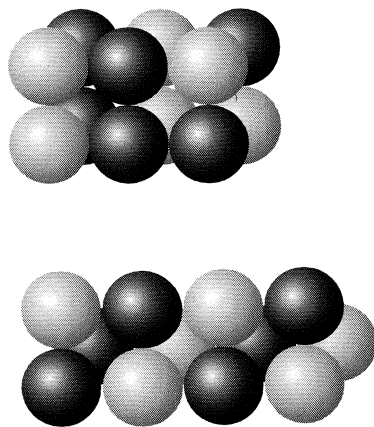
cleos mais pesados do que o hélio. De fato, o núcleo de berílio 8 é tão instável que (nas raras ocasiões em que se forma), em geral, dura menos de um milionésimo de bilionésimo de segundo antes de se dividir espontaneamente. Era concebível que um núcleo de hélio pudesse se fundir com o núcleo de berílio 8 durante essa efêmera existência para formar carbono 12, mas, mesmo se isso acontecesse, haveria outro obstáculo a ser superado.

A massa combinada do núcleo de hélio e do núcleo de berílio é ligeiramente maior que a massa do núcleo de carbono, assim, se hélio e berílio se fundissem para formar carbono, haveria o problema de se livrar da massa excedente. Normalmente, as reações nucleares podem dissipar o excesso de massa convertendo-o em energia (via  $E = mc^2$ ), mas quanto maior a diferença de massa, mais tempo levaria para a reação acontecer. E tempo era alguma coisa que o núcleo de berílio 8 não tinha. A formação do carbono tinha que acontecer quase instantaneamente, porque o berílio 8 tem um tempo de vida muito curto.

Assim, havia duas barreiras na rota do carbono via berílio 8. Primeiro, o berílio 8 era instável e não durava mais que uma fração de segundo. Segundo, transformar o hélio e o berílio em carbono exigia um intervalo de tempo significativo devido ao leve desequilíbrio de massa. A situação parecia impossível porque os dois problemas se somavam. Hoyle não podia desistir nesse ponto, e voltou sua mente para alguma coisa mais simples. E, ao fazê-lo, deu um dos maiores saltos intuitivos da história da ciência.

Embora qualquer núcleo tenha uma estrutura-padrão, Hoyle sabia que eram possíveis arranjos alternativos para os prótons e nêutrons. Podemos imaginar as 12 partículas que formam um núcleo de carbono como 12 esferas, e dois arranjos possíveis dessas esferas são ilustrados na figura 89. A primeira tem duas camadas de seis partículas numa disposição retangular, a segunda, quatro camadas de três partículas em um arranjo triangular (esta é uma enorme simplificação, porque as coisas no nível nuclear não são tão geometricamente simples). Vamos presumir que o primeiro arranjo seja associado à forma mais comum de carbono, e o segundo seja o da chamada *forma excitada* de carbono. É possível transformar o núcleo de carbono comum na forma excitada injetando-se energia. E, como energia e massa são

equivalentes ( $E = mc^2$  de novo), o núcleo de carbono excitado tem uma massa ligeiramente maior que o núcleo de carbono comum. Hoyle concluiu que devia existir uma forma excitada de carbono 12 com a massa exatamente certa que igualasse de modo perfeito a massa combinada do berílio 8 e do hélio 4. Se existisse esse núcleo de carbono, então o hélio 4 poderia reagir mais rapidamente com o berílio 8 para formar carbono 12. Apesar do tempo de vida muito curto do berílio 8, seria possível criar quantidades significativas de carbono 12.



**Figura 89** Os diagramas representam duas formas possíveis de carbono, embora, na realidade, os prótons (escuros) e os nêutrons (mais claros) não se disponham de modo tão ordenado, tendendo a formar um aglomerado esférico. O importante é que o núcleo de carbono pode existir em arranjos diferentes com massas diferentes.

### Problema resolvido!

Mas os cientistas não podem apenas imaginar uma solução para um problema. Só porque Hoyle sabia que um estado excitado do carbono 12 com a massa certa poderia abrir a porta para a criação do carbono e de todos os elementos mais pesados, isso não significava, necessariamente, que tal estado existia. Núcleos excitados podem ter apenas massas muito particulares, e os cientistas não podem apenas desejar que tenham um valor conveniente. Felizmente, Hoyle era muito mais do que um pensador esperançoso. Sua



confiança na existência de estado excitado certo de carbono era baseada em uma cadeia de raciocínio lógico estranha, mas válida.

A premissa de Hoyle era de que ele existia no universo. Além disso, Hoyle destacou, ele era uma forma de vida baseada no carbono. Daí, o carbono existia no universo, assim deveria existir um meio de criar carbono. Contudo, o único meio de se criar carbono parecia depender da existência de um estado excitado específico de carbono. Conseqüentemente, tal estado excitado deveria existir. Hoyle estava aplicando, rigorosamente, o que mais tarde ficaria conhecido como *princípio antrópico*. Este princípio pode ser definido e interpretado de várias maneiras, mas uma versão declara: “Nós estamos aqui para estudar o universo, assim as leis do universo devem ser compatíveis com a nossa existência.”

No argumento de Hoyle, ele afirmava ser parcialmente feito de núcleos de carbono 12, assim, o estado excitado correto de carbono deveria existir, de outro modo não existiriam nem carbono 12 nem Fred Hoyle.

Tecnicamente Hoyle previu que este estado excitado de carbono teria 7,65 megaeletronvolts (MeV) mais energia do que o núcleo de carbono básico. O megaeletronvolt é uma minúscula unidade de energia bem adequada para a medição das quantidades de energia associadas com objetos minúsculos tais como núcleos atômicos. Hoyle agora queria saber se tal estado excitado realmente existia.

Em 1953, logo depois de postular esse estado excitado de carbono, Hoyle foi convidado a passar um ano sabático no Instituto de Tecnologia da Califórnia (Caltech), onde teve a chance de testar sua teoria. No *campus* do Caltech ficava o Laboratório de Radiação Kellogg, onde Willy Fowler adquirira a reputação de ser um dos maiores físicos experimentais do mundo. Um dia Hoyle foi até o escritório de Fowler e falou-lhe sobre sua previsão de um estado excitado de carbono, 7,65 MeV acima do estado comum. Ninguém jamais fizera uma previsão tão precisa sobre o estado excitado de um núcleo, porque a física e a matemática eram complexas demais. Mas a previsão de Hoyle era baseada em lógica pura, não em matemática ou física. Hoyle queria que Fowler procurasse pelo seu estado previsto de carbono 12 e provasse que ele estava certo.

Aquele foi o primeiro encontro de Fowler com Hoyle, e ele não tinha idéia do que estava acontecendo na mente daquele homem de Yorkshire. A resposta inicial de Fowler foi de que o carbono 12 já tinha sido medido em detalhes e não havia registro de um estado excitado a 7,65 MeV. Mais tarde ele lembraria de que sua reação a Hoyle fora totalmente negativa: “Eu era muito cético em relação a esse cosmólogo do estado estacionário, esse teórico que fazia perguntas sobre o núcleo do carbono 12... Lá estava aquele homenzinho engraçado que achava que devíamos parar com todo o trabalho importante que estávamos fazendo... e procurar por esse estado. E nós tentamos nos livrar dele. Vá embora, jovem, você nos perturba”.

Hoyle continuou a insistir em seu argumento, dizendo que Fowler poderia checar sua teoria em poucos dias se procurasse especificamente pelo carbono 12 no estado de 7,65 MeV. Se Hoyle estivesse errado, Fowler teria que fazer serão durante algumas noites para recuperar seu cronograma. Mas, se Hoyle estivesse certo, Fowler teria a recompensa de fazer uma das maiores descobertas na física nuclear. Por fim, Fowler ficou convencido com essa simples análise de custo-benefício. Ele pediu a sua equipe que comesse a procurar pelo estado excitado imediatamente, para o caso de ter passado despercebido nas medições anteriores.

Depois de passar dez dias analisando o núcleo do carbono 12, a equipe de Fowler encontrou um novo estado excitado. Ele se encontrava a 7,65 MeV, exatamente onde Hoyle dissera que deveria estar. Essa foi a primeira e única vez que um cientista fez uma previsão usando o princípio antrópico e se mostrou certo. Era um caso de genialidade extrema.

Finalmente, Hoyle tinha provado e identificado o mecanismo pelo qual o hélio poderia ser transformado em berílio e então em carbono. Ele tinha confirmado que o carbono era sintetizado a temperaturas de aproximadamente 200 milhões de graus Celsius através da reação mostrada na Figura 88(b). Era um processo lento, mas bilhões de estrelas ao longo de bilhões de anos poderiam criar quantidades significativas de carbono.

E, ao explicar a criação do carbono, confirmava o ponto inicial para as outras reações nucleares que criavam todos os outros elementos no universo. Hoyle tinha resolvido o problema da nucleossíntese. Essa foi uma grande conquista para o modelo do estado estacionário, porque Hoyle podia afir-

mar que a matéria simples, supostamente criada no espaço entre as galáxias em fuga, poderia se acumular para formar estrelas e novas galáxias, onde seria transformada nas várias fornalhas estelares para produzir todos os elementos pesados que temos hoje em dia. O trabalho de Hoyle também impulsionou o modelo do Big Bang, que de outro modo não conseguiria explicar a criação dos elementos pesados a partir de todo o hidrogênio e hélio que teriam emergido no período imediatamente posterior à criação do universo.

À primeira vista, a solução da questão da nucleossíntese poderia ser considerada como um compromisso entre os dois campos cosmológicos rivais. Afinal ambos, o Big e o modelo do estado estacionário, poderiam explicar a síntese dos elementos pesados invocando os mesmos processos estelares. Mas na verdade o Big Bang emergira como o mais forte dos dois modelos, porque, quando se abordava a criação dos elementos mais leves, como o hélio, só o modelo do Big Bang poderia explicar satisfatoriamente sua abundância.

O hélio é o segundo elemento mais comum e o segundo mais leve do universo depois do hidrogênio. As estrelas transformam o hidrogênio em hélio, mas muito lentamente, assim, do ponto de vista do Big Bang, as estrelas não poderiam ser responsáveis pela grande quantidade de hélio existente no universo hoje em dia. Contudo, Gamow, Alpher e Herman tinham mostrado que o hélio no universo atual poderia ser explicado se o hidrogênio tivesse se fundido em hélio nos momentos após o Big Bang. Os últimos cálculos da teoria estimavam que o hélio deveria corresponder a 10% de todos os átomos no universo, o que estava muito próximo das últimas estimativas baseadas em observações, assim a teoria e as observações eram coerentes.

Em contraste o modelo do estado estacionário não conseguia explicar a abundância de hélio. Daí que o Big Bang e o estado estacionário estavam empatados em termos da nucleossíntese dos elementos pesados, mas só o Big Bang poderia explicar de fato a nucleossíntese do hélio.

A defesa da nucleossíntese no Big Bang foi fortalecida pelos novos cálculos da nucleossíntese do núcleo de elementos como o lítio e o boro, que eram mais pesados que o hélio, mas mais leves do que o carbono. Os cálculos mostravam que esses núcleos de lítio e boro não podiam ser sintetizados dentro das estrelas, mas poderiam ter surgido do calor do Big Bang ao mesmo tempo que o hidrogênio estava sendo convertido em hélio. De fato,

as estimativas teóricas da abundância de lítio e hélio criados no calor do Big Bang correspondiam exatamente ao que era observado no universo moderno.

Ironicamente, embora uma explicação completa da nucleossíntese fosse uma vitória para o modelo do Big Bang, ela não teria sido possível sem a imensa contribuição de Hoyle, que estava no campo oposto. George Gamow tinha um enorme respeito por Hoyle e reconheceu suas conquistas na bem-humorada paródia do Gênesis mostrada na figura 90. A Gênesis de Hoyle é na verdade um excelente resumo da nucleossíntese, da criação dos núcleos leves no calor do Big Bang e da criação dos núcleos pesados nas supernovas.

Todo o programa de pesquisa para explicar a nucleossíntese em termos dos processos dentro das estrelas envolveu dezenas de passos e muitos aprimoramentos que aconteceram ao longo de mais de uma década. Hoyle permaneceu sempre no cerne do esforço, mas foi apoiado pelo trabalho experimental de Willy Fowler e também colaborou com a equipe de marido-esposa de Margaret e Geoffrey Burbidge. Os quatro colaboraram num documento definitivo de 104 páginas intitulado “Síntese dos elementos nas estrelas”, que identificava o papel de cada fase estelar e as conseqüências de cada reação nuclear. Tal trabalho continha a declaração extraordinariamente audaciosa de que: “Nós achamos possível explicar, de um modo geral, a abundância de praticamente todos os isótopos dos átomos, do hidrogênio ao urânio, através da síntese nas estrelas e nas supernovas”.

O trabalho ficou tão famoso que se tornou conhecido apenas pelas iniciais de seus autores (como B2FH) e foi amplamente reconhecido como um dos grandes triunfos da ciência do século XX. Não é de surpreender que ele daria um prêmio Nobel para um de seus autores. O que é surpreendente é que o Nobel de física de 1983 fosse para Willy Fowler e não para Fred Hoyle.

O fato de Hoyle ter sido ignorado é uma das maiores injustiças da história do Nobel. O principal motivo para o Comitê Nobel esnobar Hoyle foi o fato de ele ter feito muitos inimigos ao longo dos anos devido à sua franqueza. Por exemplo, ele tinha reclamado, com veemência, quando o Nobel de física de 1974 foi dado à descoberta dos pulsares. Ele concordava que a detecção dessas estrelas pulsantes fora uma grande descoberta,

Figura 90 O Gênese segundo George Gamow

---

*No princípio Deus criou a radiação e o ylem. E o ylem era sem forma ou número, e os núcleons corriam loucamente sobre a face do abismo.*

*E Deus disse: “Que haja a massa dois”. E houve a massa dois. E Deus viu o deutério, e o deutério era bom.*

*E Deus disse: “Que haja massa três”. E a massa três se fez. E Deus viu o trítio, e o trítio era bom.*

*E Deus continuou chamando os números até chegar aos elementos transurânicos. E então, quando fitou a sua obra, Deus viu que não era boa. No entusiasmo da contagem, ele deixara de citar a massa cinco, e assim, naturalmente, nenhum elemento mais pesado poderia se formar.*

*Deus estava muito desapontado e queria contrair o universo novamente e começar tudo de novo. Mas isso seria simples demais. Assim, sendo todo-poderoso, Deus decidiu corrigir o seu engano da forma mais impossível.*

*E Deus disse: “Que haja Hoyle”. E houve Hoyle. E Deus olhou para Hoyle e lhe disse para produzir elementos pesados do jeito que ele quisesse.*

*E Hoyle decidiu fabricar elementos pesados nas estrelas, e espalhá-los através das explosões das supernovas. Mas, assim fazendo, ele tinha que obter as mesmas abundâncias que teriam resultado da nucleossíntese do ylem, se Deus não tivesse esquecido de chamar a massa cinco.*

*E assim, com a ajuda de Deus, Hoyle fez os elementos pesados deste modo, mas era tão complicado que, hoje em dia, nem Hoyle, nem Deus nem ninguém mais pode determinar exatamente como foi feito.*

*Amém.*

mas ficou indignado porque o prêmio não foi partilhado com a jovem astrônoma Jocelyn Bell, que fizera as observações cruciais dos pulsares. A estratégia mais prudente teria sido ficar em silêncio e se afastar das controvérsias, mas Hoyle não conseguia colocar o decoro acima de honestidade e da integridade.

De modo semelhante, em vez de ficar de cabeça baixa e prosseguir com seu trabalho em Cambridge, Hoyle combateu as políticas absurdas que regiam a universidade. Em 1972, depois de passar anos lutando contra o sistema, um Hoyle frustrado pediu demissão de seu posto:

Eu não vejo nenhum sentido em continuar a luta num campo de batalha onde não tenho a menor esperança de vencer. O sistema em Cambridge foi efetivamente projetado para impedir qualquer um de estabelecer uma política direcionada — decisões-chave podem ser derrubadas por comitês mal informados e politicamente motivados. Para ser eficiente nesse sistema, é preciso vigiar seus colegas o tempo todo, quase como no sistema de espionagem de Robespierre. E, se alguém fizer isso, sobráá pouco tempo para a verdadeira ciência.

Embora a abordagem franca de Hoyle na física e na vida o tornassem impopular em certos círculos, a maioria dos cientistas gostava dele, incluindo o astrônomo americano George O. Abell:

Ele é um orador brilhante e um professor maravilhoso. Também é um ser humano caloroso que sempre encontra tempo para falar com seus alunos; seu entusiasmo sobre quase todas as coisas é extremamente contagioso. E de fato se revelou um homem de grandes idéias; simplesmente é a pessoa para quem as coisas ocorrem, durante quase todo o tipo de conversa, sob quase todo tipo de circunstância... e é dessa riqueza de idéias, algumas erradas, outras erradas mas brilhantes e outras brilhantes e certas que se faz o progresso científico.

Depois de sua demissão, Hoyle passou os trinta anos seguintes de sua vida como um astrofísico errante, visitando várias universidades e passando tempos no Distrito dos Lagos, antes de finalmente se retirar para o litoral, em

Bournemouth. Como lembra o astrônomo real Martin Rees, foi um final triste para um grande homem como ele: “Seu isolamento da comunidade acadêmica provavelmente prejudicou sua ciência; e foi por certo uma triste privação para o resto de nós”.

## Cosmologia corporativa

Aqueles que contribuíram para a história da cosmologia tiveram suas pesquisas apoiadas, financeiramente, de várias maneiras diferentes. Copérnico encontrou tempo para estudar o Sistema Solar no intervalo de seus deveres como médico do bispo de Ermland, enquanto Kepler se beneficiou do apoio de Herr Wacker von Wackenfels. A ascensão das universidades européias forneceu torres de marfim para gente como Newton e Galileu, enquanto outros pesquisadores, como lorde Rosse, eram ricos o bastante para financiarem suas próprias torres de marfim, com seus observatórios particulares. O apoio real foi uma influência importante na Europa durante muitos séculos, com monarcas como o rei Jorge III apoiando cientistas como Herschel. Em contraste com isso, os astrônomos norte-americanos, que queriam telescópios maiores no início do século XX, voltaram-se para multimilionários filantropos como Andrew Carnegie, John Hooker e Charles Tyson Yerkes.

Contudo, ao longo da história da astronomia, até 1920, as grandes empresas não tinham investido nada na exploração do céu. O que não é surpreendente, pois sondar a estrutura do universo não é um caminho óbvio para os lucros dos acionistas. Não obstante, uma corporação americana decidiu tornar-se um dos principais agentes no desenvolvimento da cosmologia e fez uma contribuição significativa para o debate Big Bang *versus* estado estacionário.

A American Telephone and Telegraph (AT&T) Corporation firmou sua reputação ao construir a rede de comunicações dos Estados Unidos, explorando as patentes de telefonia de Alexander Graham Bell. Depois de se fundir à Western Electric, em 1925, ela estabeleceu sua base de pesquisa nos Laboratórios Bell, em Nova Jersey, que rapidamente conquistaram a reputação de grande centro de pesquisa. Além da pesquisa aplicada às comunica-

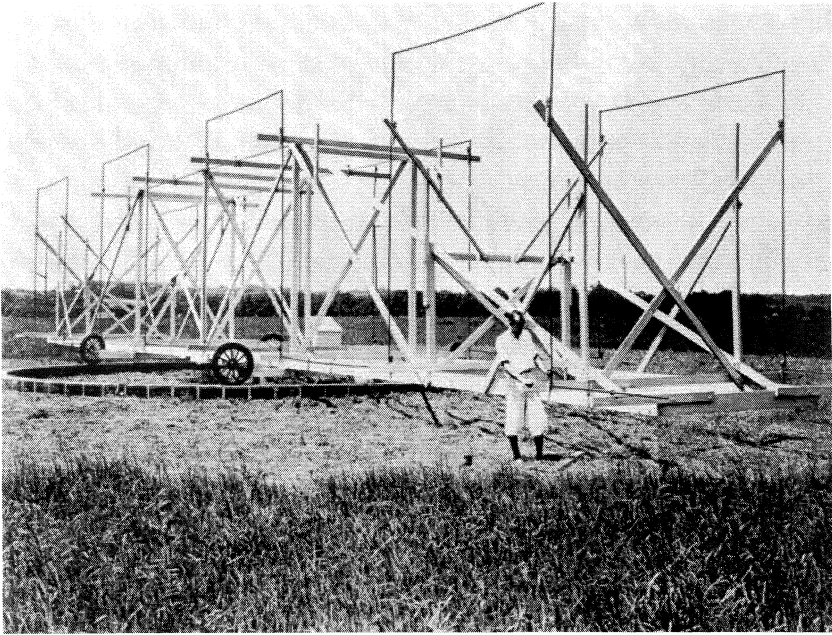
ções, os Laboratórios Bell também dedicaram grandes recursos à pesquisa básica e fundamental. Sua filosofia tem sido sempre a de que a pesquisa pura, de primeira classe, nutre uma cultura da curiosidade e cria pontes com as universidades, o que leva, finalmente, a benefícios comerciais concretos. Benefícios à parte, as descobertas nos Laboratórios Bell já renderam seis Prêmios Nobel de física, partilhados por 11 cientistas, um desempenho igualado apenas pelas maiores universidades do mundo. Por exemplo, em 1937, Clinton J. Davisson recebeu o prêmio por seu trabalho na natureza ondulatória da matéria; em 1947, Bardeen, Brattain e Shockley receberam o prêmio pela invenção do transistor; e, em 1998, Stormer, Laughlin e Tsui partilharam o prêmio pela descoberta e explicação do efeito quântico fracionário Hall.

A história de como os Laboratórios Bell acabaram se envolvendo com a cosmologia é um pouco complexa e começa em 1928, um ano depois de a AT&T começar o serviço de telefonia transatlântica baseada em rádio. A ligação de rádio podia transmitir uma chamada de cada vez ao preço de 75 dólares pelos primeiros três minutos — equivalente a quase mil dólares em valores atuais. A AT&T estava ansiosa para manter o domínio desse mercado lucrativo oferecendo um serviço de alta qualidade. Assim, ela pediu aos Laboratórios Bell que fizessem uma pesquisa das fontes naturais de ondas de rádio, que estavam interferindo nas comunicações de longa distância ao provocarem um ruído de fundo de estalidos. A tarefa de pesquisar essas incômodas fontes de rádio coube a Karl Jansky, um jovem pesquisador de 22 anos de idade que tinha acabado de se graduar em física pela universidade de Wisconsin, onde seu pai fora professor de engenharia elétrica.

As ondas de rádio, como as ondas de luz visível, são parte do espectro eletromagnético. Entretanto, as ondas de rádio são invisíveis e têm comprimentos de onda muito mais longos do que a luz visível. Enquanto os comprimentos de onda da luz visível têm menos de um milésimo de milímetro, os comprimentos de onda do rádio variam de alguns milímetros (microondas) a alguns metros (ondas de rádio FM) e algumas centenas de metros (ondas das rádios AM). Os comprimentos de onda usados pelo sistema de radiotelefonia da AT&T eram da ordem de alguns metros, assim Jansky construiu uma antena de rádio gigante, extremamente sensível, num sítio do



Laboratório Bell em Holmdel, como mostrado na figura 91. Era capaz de detectar ondas de rádio de 14,6 metros. A antena fora montada sobre uma mesa giratória que girava três vezes a cada hora, permitindo que captasse ondas de rádio de todas as direções. Quando Jansky não estava olhando, as crianças das cercanias se penduravam nos suportes do mais lento carrossel do mundo, motivo pelo qual a antena foi batizada de “carrossel de Jansky”.



**Figura 91** Karl Jansky faz ajustes na antena projetada para detectar fontes naturais de ondas de rádio. As rodas de Ford Modelo T são parte da mesa giratória que fazia a antena girar.

Tendo construído a antena no outono de 1930, Jansky passou vários meses trabalhosamente medindo a intensidade da interferência de rádio de diferentes direções, a diferentes horas do dia. Ele tinha ligado a antena a um alto-falante, assim podia de fato ouvir o chiado e os estalidos da estática produzida pela interferência natural. Logo percebeu que a interferência se dividia em três categorias. Em primeiro lugar, havia o impacto ocasional das trovoadas locais. Em segundo lugar, havia o estalido mais fraco e mais cons-

tante das tempestades distantes. E, em terceiro lugar, existia uma categoria ainda mais fraca de interferência que Jansky descreveu como “composta de um chiado bem constante cuja origem não era ainda conhecida”.

A maioria dos pesquisadores teria ignorado a fonte de rádio desconhecida, porque era insignificante se comparada com as outras duas fontes e não teria nenhum impacto sério sobre as comunicações transatlânticas. Jansky, contudo, estava determinado a ir até o fundo do mistério e passou vários meses analisando a intrigante interferência. Pouco a pouco percebeu que o chiado vinha de uma região distinta do céu e chegava ao máximo a cada 24 horas. Na verdade, quando Jansky olhou seus dados com mais cuidado, descobriu que o pico daquela interferência ocorria a cada 23 horas e 56 minutos. Quase um dia inteiro entre os dois picos, mas não exatamente.

Jansky mencionou o curioso intervalo de tempo para seu colega Melvin Skellet, que tinha um doutorado em astronomia e foi capaz de determinar o significado dos quatro minutos ausentes. A cada ano a Terra gira em seu eixo  $365 \frac{1}{4}$  vezes, e cada dia dura 24 horas, assim um ano consiste em  $365 \frac{1}{4} \times 24 = 8.766$  horas. Contudo, além de girar em seu próprio eixo  $365 \frac{1}{4}$  vezes, a Terra efetivamente dá uma volta extra a cada ano ao girar em torno do Sol. Portanto, a Terra faz na verdade  $366 \frac{1}{4}$  rotações em 8.766 horas (um ano), assim, cada rotação leva 23 horas e 56 minutos, o que é conhecido como *dia sideral*. O significado do dia sideral é que se trata da duração de nossa rotação em relação ao universo inteiro, em oposição ao nosso provinciano dia de 24 horas.

Skellet era bem familiarizado com a duração do dia sideral e sua importância astronômica, mas foi uma surpresa para Jansky, que logo começou a analisar as implicações de sua interferência de rádio. Percebeu que, se o misterioso chiado de rádio chegava ao máximo uma vez a cada dia sideral, então sua fonte deveria ser algo muito além da Terra e do Sistema Solar. O dia sideral implicava uma fonte de rádio cósmica. De fato, quando Jansky tentou determinar a direção do sinal de rádio, descobriu que estava vindo do centro da Via Láctea, nossa galáxia. A única explicação era que nossa galáxia estava gerando ondas de rádio.

Com a idade de apenas 26 anos, Karl Jansky tinha se tornado a primeira pessoa a detectar e identificar ondas de rádio vindas do espaço, uma desco-

berta verdadeiramente histórica. Nós agora sabemos que o centro da Via Láctea tem campos magnéticos muito intensos que interagem com elétrons em movimento rápido, o que resulta em uma produção constante de ondas de rádio. A pesquisa de Jansky tinha aberto uma janela para esse fenômeno. Ele anunciou seus resultados em um trabalho intitulado “Perturbações elétricas de origem aparentemente extraterrestre”.

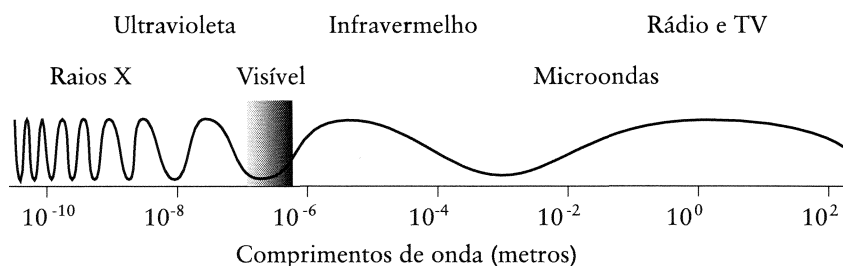
A história foi parar no *New York Times*, que publicou um artigo de primeira página no dia 5 de maio de 1933, incluindo uma garantia, para tranquilizar os leitores, de que “não há indicação de nenhum tipo... de que essas ondas de rádio galácticas constituam alguma forma de sinalização interestelar, ou que sejam o produto de alguma forma de inteligência tentando uma comunicação intergaláctica”. Mas isso não foi suficiente para deter uma pilha de cartas que chegaram ao escritório de Jansky afirmando que ele estava recebendo importantes mensagens de alienígenas que não deveriam ser ignoradas.

O verdadeiro significado da descoberta de Jansky ultrapassa até mesmo a importante descoberta de que a Via Láctea emite ondas de rádio. Sua realização deu origem à ciência da *radioastronomia* e demonstrou que os astrônomos poderiam aprender muito sobre o universo olhando além da estreita faixa de comprimentos de ondas eletromagnéticas visíveis ao olho humano. Como mencionado no capítulo 3, os objetos emitem radiação eletromagnética em uma vasta faixa de comprimentos de onda. Esses comprimentos de onda, resumidos na figura 92, podem ser mais curtos e mais longos do que o arco-íris familiar de comprimentos de onda visíveis.

E, ainda que não possamos ver esses comprimentos de onda extremos com nossos olhos, eles são bem reais. A situação é a mesma com o som. Os animais emitem uma grande variação de comprimentos de onda sonora, mas nós, seres humanos, podemos ouvir apenas aqueles dentro de uma faixa limitada. Não podemos ouvir nem os infra-sons (comprimentos de onda longos) gerados pelos elefantes, nem os ultra-sons (comprimentos de onda curtos) emitidos pelos morcegos. Sabemos que os infra-sons e os ultra-sons existem porque podemos detectá-los com equipamento especial.

Jansky estava à frente de seu tempo, porque os astrônomos de sua época não estavam familiarizados com a tecnologia do rádio e relutaram em acom-

panhar sua descoberta. E, para tornar as coisas piores, havia a Grande Depressão, e os Laboratórios Bell não podiam justificar um desvio de fundos para a radioastronomia, assim Jansky foi forçado a abandonar sua pesquisa. Contudo, no devido tempo, a descoberta de Jansky encorajaria os astrônomos a ampliarem o alcance de suas observações além do espectro visível.



**Figura 92** O espectro da luz visível é parte de uma faixa muito maior de comprimentos de onda conhecida como espectro eletromagnético. Toda a radiação eletromagnética, incluindo a luz visível, consiste em vibrações elétricas e magnéticas. A faixa de comprimentos de onda da luz visível fica limitada a um trecho muito estreito do espectro eletromagnético. De modo a estudar o universo da maneira mais completa possível, os astrônomos tentam detectar a radiação em toda a variação de comprimentos de onda, dos bilionésimos de metro (raios X) a vários metros (ondas de rádio).

Os astrônomos modernos empregam não somente radiotelescópios, mas também telescópios infravermelhos, telescópios de raios X e outros equipamentos que lhes dão acesso a todo o espectro eletromagnético de comprimentos de onda. Ao explorar esses diferentes comprimentos de onda, os astrônomos podem estudar aspectos diferentes do universo. Por exemplo, os telescópios de raios X detectam os comprimentos de onda mais curtos, que são ideais para a observação dos eventos mais energéticos do universo. E os telescópios infravermelhos são extremamente eficientes para ver através da nossa Via Láctea, porque os comprimentos de onda infravermelhos penetram através do gás e da poeira galáctica que bloqueiam a luz visível.

Explorar todos os comprimentos de onda possíveis da luz dos corpos celestes tornou-se um princípio central da astronomia moderna. A luz, visí-

vel e invisível, é o único caminho para estudar o universo, assim os astrônomos precisam captar todos os indícios possíveis em todos os comprimentos de onda disponíveis.

Num ponto levemente tangencial é interessante notar que a detecção das emissões de rádio galácticas por Jansky foi uma pura casualidade, já que ele tropeçou em alguma coisa maravilhosa que de início não estava procurando. De fato, esse é um belo exemplo de uma das características menos conhecidas e no entanto comuns da descoberta científica — a serendipidade. A palavra “serendipidade” foi criada em 1754 pelo político e escritor Sir Horace Walpole, que a usou em uma carta na qual contava uma descoberta acidental, mas feliz, sobre um conhecido:

Esta descoberta, de fato, é quase do tipo que eu chamo de serendipidade, uma palavra muito impressionante, a qual, na falta de algo melhor para dizer, tentarei lhe explicar: você vai entendê-la melhor pela derivação do que pela definição. Uma vez eu li um tolo conto chamado *Os três príncipes de Serendip*: conforme suas altezas viajavam, iam sempre fazendo descobertas, por acidente ou por sagacidade, de coisas que não estavam procurando.

A história da ciência e da tecnologia está coberta de serendipidade. Por exemplo, em 1948 George de Mestral saiu para caminhar em um campo da Suíça, e viu algumas sementes espinhosas grudadas em suas calças, reparou que seus ganchos finos tinham ficado presos nas dobras do tecido e teve a inspiração para inventar o Velcro. Em outro exemplo de serendipidade grudenta, Art Fry tentava desenvolver uma supercola quando acidentalmente produziu uma cola tão fraca que dois objetos grudados com ela poderiam ser separados com facilidade. Fry, um membro entusiástico do coro da igreja local, cobriu pedaços de papel com sua fracassada supercola e os usou para marcar as páginas do seu caderno de hinos. E foi nesse ponto que nasceram os adesivos do tipo post-it. Um exemplo de serendipidade médica é o Viagra, que foi desenvolvido, inicialmente, para o tratamento de problemas cardíacos. Os pesquisadores só começaram a suspeitar que ele poderia ter um efeito colateral positivo quando os pacientes que tinham tomado parte nos testes clínicos se recusaram a devolver as

pílulas não usadas, ainda que a droga parecesse não ter efeito algum sobre seus problemas de coração.

Seria fácil classificar os cientistas que exploraram a serendipidade como apenas sortudos, mas isso seria injusto. Todos esses cientistas e inventores conseguiram aproveitar suas observações casuais somente depois de terem acumulado conhecimento suficiente para colocá-las num contexto. Como disse Louis Pasteur, que se beneficiou da serendipidade: “O acaso favorece a mente preparada”. Walpole também destacou isso em sua carta original, ao descrever a serendipidade como o resultado de “acidentes e sagacidade”.

Além disso, aqueles que querem ser tocados pela serendipidade devem estar prontos para abraçar a oportunidade quando esta se apresenta, em vez de apenas escovar as calças cobertas de sementes, jogar fora a supercola fracassada na pia ou abandonar um teste médico fracassado. A descoberta da penicilina por Alexander Fleming foi o resultado de uma partícula de fungo *Penicillium* flutuando através de uma janela e caindo em um disco de Petri, onde matou uma cultura de bactérias. É bem provável que muitos microbiólogos já tivessem tido culturas de bactérias contaminadas pelo fungo *Penicillium*, mas todos tinham jogado fora seus discos de Petri, frustrados, em vez de ver ali a oportunidade para descobrir um antibiótico que salvaria milhões de vidas. Winston Churchill uma vez observou: “Os homens ocasionalmente tropeçam na verdade, mas a maioria se equilibra e vai embora como se nada tivesse acontecido”.

Voltando à radioastronomia, veremos que a serendipidade se revelaria responsável por muito mais do que dar origem a uma nova técnica de observação. Nos anos seguintes, ela desempenharia um papel central em várias descobertas nesse campo.

Por exemplo, durante a Segunda Guerra Mundial, o educador Stanley Hey foi para o Grupo de Pesquisa Operacional do Exército para trabalhar no programa de radar britânico. Além de examinar a transmissão e recepção de ondas de rádio, que são a base do radar, pediram a Hey que abordasse um problema particular que estava afetando o radar dos Aliados. Os operadores que monitoravam o sistema de radar ocasionalmente viam suas telas se iluminarem como árvores de Natal, o que impedia que identificassem os bom-

bardeiros inimigos no meio daquela infinidade de sinais. Presumiu-se que os engenheiros alemães tivessem desenvolvido uma nova tecnologia de interferência no radar com base na emissão de ondas de rádio sobre as estações de radar britânicas. Hey tentou descobrir como os alemães estariam gerando sinais tão poderosos, para que pudesse encontrar um meio de anulá-los. Então, na primavera de 1942, percebeu que o problema britânico não tinha nada a ver com os alemães.

Hey percebeu que a interferência parecia vir do leste pela manhã, do sul na hora do almoço e do oeste à tarde, e então parava ao pôr-do-sol. Claramente não se tratava de uma arma secreta nazista e sim, apenas, o resultado de emissões de rádio do Sol. O que acontecia é que o Sol estava no auge do seu ciclo de 11 anos de manchas solares, e a intensidade das emissões de rádio era ligada à forte atividade das manchas solares. Ao pesquisar o radar, Hey tinha descoberto, de modo accidental, que o Sol — e presumivelmente todas as estrelas — emitem ondas de rádio.

Hey parecia ter uma queda para a serendipidade, porque em 1944 fez outra descoberta casual. Usando um sistema de radar especial, apontado para cima, que ele desenvolvera para detectar a chegada dos foguetes V-2, Hey notou que os meteoros também emitiam sinais de rádio enquanto queimavam através da atmosfera.

Quando o frenesi da pesquisa de radar na guerra terminou, em 1945, havia uma grande quantidade de equipamento de rádio sobrando e um grande número de cientistas igualmente excedentes que sabiam como usá-lo. E foi por essa razão que a radioastronomia começou a se estabelecer como um campo sério de pesquisa. Dois dos primeiros radioastrônomos em tempo integral foram Stanley Hey e seu colega na pesquisa de radar Bernard Lovell. Eles conseguiram obter uma unidade de radar móvel, que fora do Exército, e começaram um programa de observações de radioastronomia. Aquele foi o ponto de partida para Lovell, que instalaria um observatório radioastronômico em Manchester. A interferência de rádio, dos bondes que passavam, o forçaram a mudar-se para Jodrell Bank, um parque botânico a cerca de trinta quilômetros ao sul da cidade, onde ele começou a construir um dos melhores radioobservatórios do mundo. Enquanto isso, Martin Ryle, na Universidade de Cambridge, tentava acom-

## FRONTEIRAS DA CIÊNCIA

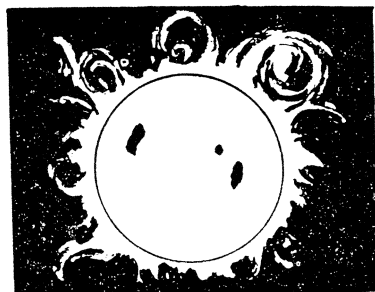
EM FEVEREIRO DE 1942, DURANTE A SEGUNDA GUERRA MUNDIAL, UMA CRISE DRAMÁTICA ACONTECEU NA INGLATERRA. OPERADORES DE RADAR DE TODO O PAÍS INFORMARAM SOBRE UM NOVO TIPO DE "INTERFERÊNCIA" QUE, PERIODICAMENTE, CONFUNDIA O SISTEMA BRITÂNICO DE DEFESA DE RADAR.



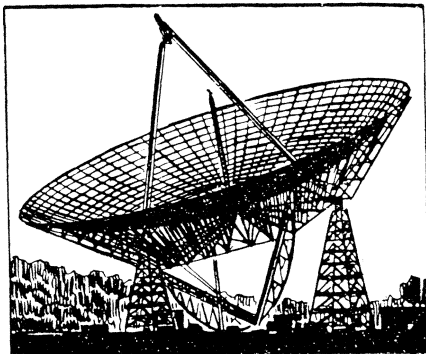
UMA INVESTIGAÇÃO IMEDIATA FOI REALIZADA POR MEMBROS DO GRUPO DE PESQUISA OPERACIONAL DO EXÉRCITO BRITÂNICO, LIDERADO POR J. S. HEY.



82-1



O SURPREENDENTE RELATÓRIO DE HEY CONCLUIU QUE A INTERFERÊNCIA NO RADAR NÃO ESTAVA SENDO CAUSADA PELOS ALEMÃES, DO OUTRO LADO DO CANAL, MAS POR SINAIS ELETROMAGNÉTICOS VINDOS DO SOL, QUE NA OCASIÃO ESTAVA PASSANDO POR UM FORTE PERÍODO DE ATIVIDADE DE LABAREDAS E MANCHAS SOLARES.



ESTE FOI UM DOS EVENTOS QUE LEVARAM A CRIAÇÃO DE UM RAMO COMPLETAMENTE NOVO DA ASTRONOMIA. A RADIOASTRONOMIA, NO QUAL OS CIENTISTAS PODEM "OUVIR" AS ESTRELAS DISTANTES ASSIM COMO OLHAR PARA ELAS.

Figura 93 As descobertas de Stanley Hey no tempo da guerra ganharam vida nova quando foram publicadas em uma história em quadrinhos na seção "Frontiers of science", do *Daily Herald*, em abril de 1963.



panhar Jodrell Bank, e foi ele que mergulhou a radioastronomia no centro da controvérsia Big Bang *versus* estado estacionário.

Ryle se graduara em física em 1939 e trabalhara no radar durante a guerra. Fora convocado para o Efetivo de Pesquisa de Telecomunicações para trabalhar em radar aerotransportado, depois se transferira para o Departamento de Pesquisa do Ministério da Aeronáutica, onde descobriram como interferir no sistema-guia dos foguetes V-2. Sua maior realização no tempo de guerra fora participar do secretíssimo projeto Moonshine, que podia simular um ataque aéreo ou naval gerando sinais falsos no radar alemão. No início do Dia D ele ajudara a distrair e confundir os militares alemães simulando dois grandes ataques navais sobre a costa francesa, bem longe de onde ocorreriam os desembarques reais.

Depois da guerra Ryle aproveitou equipamentos militares excedentes e partiu para melhorar a precisão das medidas radioastrômicas. Comparado com o telescópio óptico, os radiotelescópios eram reconhecidamente pobres em determinar a exata proveniência de um sinal, uma consequência do fato de as ondas de rádio serem mais longas do que as ondas de luz visível. Ryle superou o problema em 1946, sendo um dos pioneiros na técnica conhecida como *interferometria*, pela qual os sinais de vários radiotelescópios podem ser combinados para melhorar a precisão geral.

Conseqüentemente, em 1948, Ryle conseguiu iniciar uma pesquisa detalhada do céu para descobrir se havia objetos que emitiam muito pouca luz visível, mas grande quantidade de ondas de rádio. Tais objetos seriam invisíveis aos telescópios ópticos, mas poderiam aparecer claramente ao radiotelescópio. O método de Ryle era semelhante ao modo pelo qual a polícia pode procurar por um prisioneiro fugitivo em uma noite escura. Eles poderiam usar um par de binóculos ópticos para vasculhar o horizonte, mas não veriam nada porque o fugitivo não emite luz e a noite é muito escura. Mas, se no lugar de um binóculo eles usarem uma câmara térmica, projetada para detectar a radiação infravermelha emitida por qualquer corpo quente, então o prisioneiro aparecerá com clareza. De outro modo, se o fugitivo usar um telefone móvel para contatar seus cúmplices, o fone estará emitindo ondas de rádio e a polícia poderá usar um detector de rádio para determinar sua localização. Em outras palavras, objetos diferentes

emitem energia com diferentes comprimentos de onda, e, se você quer “ver” os objetos, então terá que usar um detector apropriado sintonizado no comprimento de onda correto.

A primeira pesquisa de Ryle, conhecida como Primeira Pesquisa de Cambridge (ou 1C) mapeou cinquenta fontes distintas de rádio. Esses objetos celestes emitiam fortes sinais de rádio, mas de outro modo eram invisíveis. Logo foram levantadas questões quanto à interpretação desses objetos. Ryle acreditava que eles eram um novo tipo de estrela dentro de nossa Via Láctea. Mas outros, como o defensor do estado estacionário Thomas Gold, argumentaram que eram galáxias independentes. Gold nutria ambições de liderar o grupo de radioastronomia de Cambridge, mas Ryle ganhara o emprego, assim a disputa científica era marcada pela animosidade pessoal.

Ryle não levou a sério a opinião de Gold, porque ele era um teórico e não um astrônomo observacional. Sem mencionar especificamente seu nome, Ryle descartou publicamente a visão de Gold num encontro do University College de Londres, em 1951: “Acho que os teóricos não entenderam os dados experimentais”. Em outras palavras, os teóricos não sabiam do que estavam falando. Hoyle estava presente e sentiu que o tom de voz de Ryle implicava que os teóricos eram “uma espécie inferior e detestável”.

Se essas fontes de rádio celestes eram estrelas ou galáxias era uma questão a ser esclarecida no ano seguinte. O grupo de Cambridge conseguir especificar a localização de uma fonte de rádio, batizada de Cygnus A, com tamanha precisão que Walter Baade, no Observatório de Monte Palomar, foi capaz de apontar o telescópio de duzentas polegadas para a área em questão numa tentativa de detectar um sinal óptico. Para Baade, ver era acreditar: “Eu sabia que havia alguma coisa estranha no momento em que examinei os negativos. Havia galáxias por toda a chapa, mais de duzentas delas, e a mais brilhante estava no centro... foi tanta coisa para a minha mente que, enquanto dirigia para jantar em casa, eu tive que parar o carro para pensar”.

Baade tinha mostrado que a fonte de rádio de Ryle estava exatamente na mesma posição de uma galáxia até então invisível. Daí que ele concluiu que a fonte de rádio era a galáxia e não uma estrela. Baade tinha provado que Gold estava certo e Ryle, errado. Tendo associado com segurança uma das fontes de rádio de Ryle com uma galáxia, os astrônomos foram encontrando

galáxias ligadas à maioria das outras fontes de rádio da pesquisa 1C. Essas galáxias emitiam ondas de rádio predominantemente sobre a luz visível e ficaram conhecidas como *radiogaláxias*.

Gold nunca se esqueceu do momento em que Baade o abordou em uma conferência com a notícia de que Cygnus A era uma radiogaláxia:

Na grande antecâmara do salão de conferências, as pessoas estavam vagueando, como geralmente se faz, e Walter Baade estava lá. Ele disse: “Tommy! Venha aqui! Olhe o que pegamos!”... Então Ryle entrou na sala e Baade gritou para ele: “Martin! Venha cá! Dê uma olhada no que encontramos!”. Ryle vem e olha as fotografias com um rosto muito sério, não diz nada e cai num sofá com as mãos no rosto. E chora.

Ryle tinha apostado sua reputação no fato de que as fontes de rádio na pesquisa 1C eram estrelas, enquanto seus críticos, sobretudo Hoyle e Gold, tinham argumentado sem cessar a favor de radiogaláxias. Era uma disputa que se tornara cada vez mais antagônica, assim Ryle ficou arrasado quando teve que admitir que Hoyle e Gold tinham estado certos todo o tempo.

Embaraçado e humilhado, Ryle decidiu que se vingaria de Hoyle e Gold se pudesse encontrar novas evidências a favor do Big Bang e contra o estado estacionário. Em especial, Ryle dedicou-se a mapear a distribuição de galáxias jovens. O significado dessa distribuição foi mencionado anteriormente como o quarto critério na tabela de questões decisivas para o debate estado estacionário *versus* Big Bang (tabela 4, páginas 344-345). Em essência, os dois modelos previam duas distribuições diferentes para as galáxias jovens:

- (1) O *modelo do Big Bang* diz que as galáxias jovens teriam existido somente no universo primordial, porque teriam amadurecido à medida que o universo envelhecia. Não obstante, ainda seríamos capazes de ver galáxias jovens, mas só nos recantos mais distantes do espaço, porque a luz das galáxias distantes teria levado bilhões de anos para chegar até nós, e assim as veríamos como eram no universo primordial.
- (2) O *modelo do estado estacionário* diz que as galáxias jovens deveriam ser distribuídas de um modo muito mais uniforme. No universo do estado estacionário, as galáxias jovens nascem o tempo todo da matéria criada

entre as galáxias em fuga. Portanto, deveríamos ver galáxias jovens em nossas vizinhanças, assim como bem longe.

De modo crucial, os astrônomos acreditavam que as radiogaláxias eram, em termos gerais, mais jovens do que as galáxias comuns. Portanto, se o modelo do Big Bang estava certo, as radiogaláxias deveriam existir muito longe da Via Láctea. De outro modo, se o modelo do estado estacionário estivesse certo, elas deveriam aparecer longe e perto. Daí que mapear a distribuição das radiogaláxias seria um modo conclusivo de testar qual dos modelos era correto.

Ryle decidiu aplicar esse teste crítico, esperando silenciosamente que se voltasse contra o modelo do estado estacionário e a favor do Big Bang. Depois de sua pesquisa 1C, ele embarcou em uma série de pesquisas cada vez mais rigorosas, imaginativamente intituladas pesquisas 2C, 3C e 4C. Ao mesmo tempo, construiu o Observatório Mullard, transformando Cambridge em um centro mundial de radioastronomia. A radioastronomia é menos vulnerável do que a astronomia óptica no que se refere às condições do tempo, porque as ondas de rádio não são bloqueadas pelas nuvens. Os radiotelescópios localizados em Cambridge podiam, portanto, competir com o resto do mundo, mesmo durante o péssimo inverno britânico.

Em 1961 Ryle tinha catalogado 5 mil radiogaláxias e analisado sua distribuição. Ele não conseguiu medir a distância exata de cada galáxia, mas pôde aplicar um sofisticado argumento estatístico para deduzir se sua distribuição era compatível com o modelo do estado estacionário ou do Big Bang. O resultado era claro: as radiogaláxias tinham a tendência a serem mais comuns a grandes distâncias, exatamente como previsto pelo Big Bang. Ryle checkou seus resultados com outro grupo de radioastronomia em Sydney, que havia feito uma pesquisa semelhante no hemisfério Sul. Eles concordavam que a distribuição de radiogaláxias favorecia o modelo do Big Bang.

Dez anos antes, Baade tinha provado que a maioria das fontes de rádio eram galáxias, mostrando que Ryle estava errado e que Gold e Hoyle estavam certos. Finalmente, Ryle podia virar a mesa e conseguir sua vingança. Ele organizou uma coletiva de imprensa em Londres, para apresentar os resultados ao mundo, e convidou Hoyle. Para maximizar o impacto do anúncio

cio, Ryle não preveniu Hoyle do que ia dizer. Isso transformou a entrevista coletiva num ritual de humilhação para Hoyle, porque ele interpretara mal o convite e esperava um conjunto totalmente diferente de resultados. Hoyle depois se lembraria: “Por certo, se os resultados fossem adversos, eu dificilmente teria sido colocado ali com tanto destaque. Por certo aquilo devia significar que Ryle estava a ponto de anunciar resultados correspondentes à teoria do estado estacionário... Fiquei lá sentado, quase sem ouvir, percebendo pouco a pouco que, por mais inacreditável que pudesse parecer, eu fora logrado”.

As observações de Ryle endossavam claramente o modelo do Big Bang, que descrevia o universo com uma história finita e um momento de criação. Em poucas horas os jornais vespertinos estavam gritando: “A Bíblia estava certa!”. Hoyle queria se esconder daquele alvoroço para analisar os dados de Ryle, esperando encontrar um erro sério, mas nem a imprensa nem o público davam sossego a ele e sua família: “Durante a semana seguinte meus filhos foram atormentados na escola. O telefone tocava sem parar. Eu o deixava tocar mas minha esposa atendia, temendo que tivesse acontecido alguma coisa com as crianças. Ela se encarregava de despachar quem ligava”.

Gamow ficou satisfeito com a notícia das medições de Ryle e marcou a descoberta favorável ao Big Bang com um de seus infames versos ruins, mostrado na figura 94. O poema cria uma imagem viva da tensão entre Ryle e Hoyle.

A facção do estado estacionário arriscara o pescoço fazendo uma previsão clara de que o universo deveria ser igual em toda parte, com galáxias jovens se distribuindo longe e perto. Se os resultados de Ryle tivessem respaldado essa previsão, então Hoyle não teria hesitado em aceitar a evidência a favor de seu modelo. Hoyle deveria ter um respeito igual pelos resultados de Ryle, ainda que eles contradissem o modelo do estado estacionário. Em vez disso, ele tentou encontrar uma falha nas observações, em termos de como elas tinham sido feitas e como estavam sendo interpretadas.

Ele disse que as medições de Ryle variavam significativamente da pesquisa 2C para a 3C, e da 3C para a 4C, insinuando que uma quinta pesquisa poderia dar um resultado diferente, mais de acordo com o modelo do estado estacionário. Gold apoiou Hoyle, chamando a variação constante de re-

sultados de “efeito Ryle”. Gold também promoveu a idéia de que a radioastronomia era uma nova disciplina e não se podia confiar nela. E disse: “Não acho que as observações citadas são capazes de dar um veredicto como este”.

Ryle reconheceu que tinham acontecido erros no passado, mas continuou firme em que a pesquisa 4C era confiável e reiterou que ela fora confirmada, de modo independente, pelos astrônomos australianos. Em uma ocasião, quando Hermann Bondi continuava com o ataque do estado estacionário contra a pesquisa 4C, Ryle perdeu o controle. De acordo com Martin Harwit, Ryle “teve um acesso de fúria que resultou na pior exibição pública de temperamento entre cientistas que eu já vi em mais de trinta anos como astrofísico profissional”.

Embora Hoyle, Bondi e Gold se recusassem a aceitar a conclusão de Ryle sobre a distribuição de galáxias, um número crescente de cosmólogos podia ver que o modelo do Big Bang estava em ascensão e que o estado estacionário parecia cada vez mais instável. E, o que era pior, mais medições das radiogaláxias feitas por Ryle estavam a ponto de desfechar outro golpe sobre os defensores do estado estacionário.

Em 1963, o astrônomo holandês-americano Maarten Schmidt estava estudando uma fonte de rádio de número 273 no catálogo da pesquisa 3C, de Ryle, conhecida rotineiramente como 3C 273. Na ocasião, achava-se que a maioria das fontes de rádio eram galáxias distantes, mas o sinal de rádio do objeto 3C 273 era tão forte que se presumira ser um novo tipo de estrela dentro da nossa Via Láctea. Além disso, 3C 273 podia ser visto pelos telescópios ópticos como um ponto de luz no lugar de uma mancha, o que reforçava a idéia de que era uma estrela e não uma galáxia. Schmidt tentou medir os comprimentos de onda da luz que estava sendo emitida pelo 3C 273 de modo a deduzir sua composição, mas ficou confuso porque os comprimentos de onda não pareciam corresponder aos emitidos por quaisquer átomos conhecidos.

Subitamente percebeu o que estava provocando a confusão. Ele estava detectando os conhecidos comprimentos de onda associados ao hidrogênio, mas estes tinham sido desviados para o vermelho numa extensão jamais vista. Isso era espantoso, porque se supunha que 3C 273 fosse uma estrela

**Figura 94** Este poema foi escrito por George Gamow e aparece em seu livro *Mr Tompkins in Wonderland*. Ele descreve a pesquisa de Martin Ryle na distribuição das radiogaláxias e a reação de Fred Hoyle.

### O estado estacionário está fora de moda

*“Seus anos de labuta”  
Disse Ryle para Hoyle  
“Foram anos perdidos, pode acreditar.  
O estado estacionário  
Está fora de moda  
A menos que meus olhos me enganem.*

*Meu telescópio  
Acabou com suas esperanças;  
Seus princípios foram refutados.  
Deixe-me ser sucinto:  
Nosso universo  
Fica mais diluído a cada dia!”*

*Disse Hoyle: “Você cita  
Lemaître, eu noto,  
E Gamow, bem, esqueça-os  
Aquele gangue errante  
E seu Big Bang,  
Por que ajudá-los e encorajá-los?*

*Como vê, meu amigo,  
Ele não tem fim  
E não houve começo.  
Como Bondi, Gold  
E eu afirmaremos  
Até seu cabelo ficar ralo!”*

*“Nada disso!”, gritou Ryle  
Num acesso de bile  
E puxando a corda;  
“Galáxias distantes  
É o que se vê,  
Bem mais apinhadas!”*

*“Você me deixa fervendo!”  
Explodiu Hoyle,  
Refazendo sua declaração.  
“Matéria nova nasce  
A cada noite e a cada dia.  
O quadro não muda!”*

*Acorde Hoyle!  
Eu vou derrotá-lo  
Ainda vou (e a diversão começa).  
“Em pouco tempo”,  
continuou Ryle,  
Vou fazê-lo enxergar!”*

localizada na nossa galáxia, e essas estrelas viajam a menos de 50 km/s, uma velocidade muito baixa para produzir o desvio observado por Schmidt. De fato, o desvio para o vermelho observado implicava que o 3C 273 estava se afastando a 48.000 km/s, aproximadamente a 16% da velocidade da luz. E, de acordo com a lei de Hubble, isso implicava que o 3C 273 era o objeto mais distante já detectado, a mais de 1 bilhão de anos-luz da Via Láctea. O objeto 3C 273 não era uma estrela local, de brilho razoável, e sim uma galáxia distante fantasticamente brilhante, várias centenas de vezes mais brilhante do que as mais brilhantes galáxias então conhecidas. E no entanto seu brilho era sobretudo na forma de ondas de rádio em vez de luz visível.

O 3C 273 ficou conhecido como *objeto de rádio quase estelar* (ou *quasar*) porque era uma radiogaláxia cuja extrema distância e brilho lhe davam a aparência enganadora de uma estrela próxima. Não demorou para que várias outras fontes de rádio fossem identificadas como galáxias quasares excepcionalmente brilhantes e remotas. Não surpreende que Gamow tenha comemorado a descoberta dos quasares com outro poema, esse destacando a noção de que os astrônomos não tinham idéia do que fazia brilhar essas distantes galáxias quasares.

Pisca pisca quase estrela  
 Grande enigma, bem distante  
 Tão diferente das outras  
 Mais brilhante que 1 bilhão de sóis  
 Pisca pisca quase estrela  
 Como me pergunto o que és

Outro mistério dos quasares — e este extremamente relevante para a disputa Big Bang *versus* estado estacionário — era a sua distribuição. Cada um dos quasares parecia estar situado nas regiões mais remotas do cosmos. E os defensores da teoria do Big Bang não tinham dúvida do que isso significava. Eles diziam que, se os quasares só podiam ser vistos a grandes distâncias, então teria levado bilhões de anos para que sua luz nos alcançasse. Nós os víamos como eram há bilhões de anos. O que implicava que os quasares tinham existido apenas em uma era inicial do universo. Talvez as condições



mais quentes e mais densas do universo primordial levassem à criação dos quasares brilhantes. De acordo com o modelo do Big Bang, era bem possível que, outrora, tivessem existido quasares perto de nós, no universo primordial, mas com o tempo teriam evoluído até se tornar galáxias comuns, e por isso não vemos nenhum quasar próximo hoje em dia.

Contudo, a distribuição de quasares era problemática para Hoyle, Gold e Bondi, porque o modelo do estado estacionário afirmava que o universo era o mesmo em todos os lugares e em todas as épocas. Se existiam quasares distantes, no passado, então deveriam existir quasares bem aqui, agora, o que não acontecia. Os defensores do estado estacionário tentaram salvar a situação sugerindo que os quasares eram objetos raros, assim, talvez o motivo de não termos um nas nossas vizinhanças não passasse de má sorte. E, além do mais, ninguém podia explicar a verdadeira natureza dos quasares, ou a fonte de energia por trás de seu brilho extraordinário, assim Hoyle, Gold e Bondi argumentaram que seu modelo estacionário não podia ser derrubado por um fenômeno tão pouco compreendido.

Eram desculpas muito fracas. O modelo do estado estacionário estava começando a perder sua credibilidade, e um número cada vez maior de cosmólogos se bandeava para o time do Big Bang. Dennis Sciama, um dos que mudaram de lado, classificou a observação dos quasares como “a evidência mais decisiva obtida até agora contra o modelo do universo do estado estacionário”. Sua mudança de opinião parece ter sido uma experiência traumática: “Para mim, a perda da teoria do estado estacionário foi motivo de grande tristeza. A teoria do estado estacionário tinha uma beleza e uma amplitude que, por algum motivo não registrado, o arquiteto do universo parece ter desprezado. O universo é, de fato, uma obra malfeita, mas eu suponho que teremos que fazer o melhor possível com ela”.

A radioastronomia estava abrindo uma nova janela para o universo, descobrindo objetos inteiramente novos e fornecendo evidência crítica para o debate Big Bang *versus* estado estacionário. Lamentavelmente, Karl Jansky, o pai da radioastronomia, não recebeu nenhum crédito durante sua vida por ter inventado, inadvertidamente, o radiotelescópio ou por fazer as primeiras observações de rádio do céu. Ele morreu em 1950 com a idade de apenas 44

anos. E foi só uma década depois de sua morte que a radioastronomia se estabeleceu como uma grande disciplina dentro da astronomia.

Entretanto, Jansky acabou imortalizado. Em 1973, a União Astronômica Internacional reconheceu sua contribuição ao batizar a unidade de fluxo de rádio em sua homenagem. Esta unidade, o *jansky*, é usada pelos radioastrônomos para indicar a força de qualquer fonte de rádio. Um quasar forte pode medir 100 janskys, enquanto uma fonte de rádio fraca pode medir apenas alguns milijanskys.

Os Laboratórios Bell, que tinham patrocinado o trabalho de Jansky na radioastronomia, também lhe pagaram tributo ao estabelecer um contínuo programa de pesquisa radioastronômica. Em particular, os Laboratórios Bell forneceram uma base para a dupla mais famosa da história da radioastronomia: um refugiado judeu ambicioso e franco e um cientista tranqüilo e calado vindo dos campos de petróleo do Texas. Juntos, eles fariam uma descoberta que abalaria a cosmologia.

## A descoberta de Penzias e Wilson

Arno Penzias nascera em uma família judaica em Munique, no dia 26 de abril de 1933, no dia em que a Gestapo foi formada. Seu primeiro encontro com o anti-semitismo foi aos quatro anos de idade, enquanto andava de bonde com sua mãe:

Quando você é o filho mais velho, favorito, acha que deve se exibir o tempo todo. Eu disse alguma coisa que tornou claro para as outras pessoas que eu era judeu. Isso provocou um ambiente tão carregado dentro do bonde que minha mãe teve que saltar e esperar pelo próximo. Depois daquele acidente eu aprendi que não deveria falar em público que era judeu e que, se o fizesse, colocaria minha família em perigo. Foi um grande choque para mim.

Embora tivesse nascido na Alemanha, o pai de Penzias era um cidadão polonês, o que colocava a família sob uma pressão especial. As autoridades ale-

mãs tinham ameaçado prender os poloneses que se recusassem a deixar o país. Mas o governo da Polônia tinha cancelado os passaportes dos judeus em 1º de novembro de 1938, assim a família Penzias não podia cruzar a fronteira. Parecia que eles não tinham nenhuma perspectiva de escapar da perseguição nazista. Contudo, tinha começado uma campanha, nos Estados Unidos, encorajando as pessoas a salvarem famílias judias afirmando que eram seus parentes. Um esquema puramente humanitário que permitiria que as famílias conseguissem permissão para deixar a Alemanha. Faltando apenas um mês, a família Penzias foi informada de que um americano desejava patrocinar seus vistos de saída, e na primavera de 1939 eles fugiram para a Grã-Bretanha. De lá tomaram um vapor para Nova York e começaram uma nova vida no Bronx.

O pai de Arno tinha um negócio de couro em Munique, mas agora era forçado a aceitar o trabalho de zelador num bloco de apartamentos, mantendo acesa a fornalha do prédio e esvaziando as latas de lixo. Arno viu como sua família lutava para ganhar a vida, e ao mesmo tempo percebeu que “as pessoas que iam para a faculdade pareciam se vestir melhor e comer mais regularmente”. Ávido por conforto e segurança, ele se esforçou, teve excelentes notas na escola e conseguiu entrar para a universidade.

A paixão de Penzias era a física, mas ele estava preocupado de não conseguir ganhar a vida como físico, assim pediu o conselho do pai sobre o que deveria estudar: “Ele disse que os físicos acham que podem fazer tudo o que um engenheiro faz, e, desse modo, pelo menos poderão ganhar a vida como engenheiros. Naqueles dias, os alunos de física eram os mais brilhantes. Aqueles que se destacavam acima da mediocridade. Os garotos mais inteligentes pareciam atraídos pelo tema por razões estéticas.

Depois de se graduar no City College de Nova York, uma instituição pública, Arno Penzias obteve seu doutorado em radioastronomia no departamento de física da Universidade de Colúmbia, que, em 1956, já produzira três prêmios Nobel. O supervisor de Penzias era Charles Townes, que se tornaria o quarto laureado Nobel de Colúmbia pelo desenvolvimento do *maser*, o equivalente do *laser* em microondas. O projeto de tese de Penzias exigia que ele construísse um receptor de rádio ultra-sensível que incorporava o *maser* de Townes como um componente-chave.

Embora o receptor funcionasse muito bem, ele não capacitou Penzias a conquistar seu objetivo principal, que era detectar as ondas de rádio emitidas por nuvens do gás hidrogênio que se supunha existirem no espaço entre as galáxias. Penzias chamou sua tese final de doutorado de “terrível”, embora inconclusiva possa ser uma descrição mais amável. De qualquer forma, ele conseguiu seu doutorado em 1961, e saiu da Colúmbia para assumir um posto de pesquisador nos Laboratórios Bell, o único laboratório industrial do mundo que podia empregar um jovem radioastrônomo.

Além de realizar sua pesquisa pura, esperava-se também que Penzias pudesse ajudar nos projetos de pesquisa mais comerciais que estavam sendo realizados. Por exemplo, os Laboratórios Bell tinham projetado o Telstar, o primeiro satélite de comunicações ativo, mas depois de seu lançamento seus criadores tiveram problemas para apontar a antena corretamente para o satélite. O novo rapaz, Penzias, ficou em frente dos trinta homens do comitê da antena e explicou como eles poderiam usar a posição conhecida de uma radiogaláxia para calibrar a direção da antena e assim encontrar o Telstar. Era uma síntese perfeita da pesquisa pura com a comercial. A solução de Penzias era uma afirmação da estratégia do laboratório de empregar cientistas puros junto com os engenheiros e os cientistas da pesquisa aplicada.

Durante dois anos Penzias foi o único radioastrônomo no Laboratório Bell, mas em 1963 Robert Wilson juntou-se a ele. O jovem texano desenvolvera um interesse pela ciência enquanto acompanhava seu pai, um engenheiro químico, pelos campos de petróleo da região. Ele foi estudar física na Universidade Rice, em Houston, e depois da graduação foi para o Caltech em 1957, a fim de conseguir o seu doutorado. Foi lá que Wilson fez um curso de graduação em cosmologia dado por Fred Hoyle, que se tornara um visitante regular da universidade californiana após sua colaboração de 1953 com Willy Fowler. Como no caso de Penzias, a tese de Wilson foi focalizada na radioastronomia e, depois de terminá-la, ele também abandonou a vida acadêmica e foi para os Laboratórios Bell.

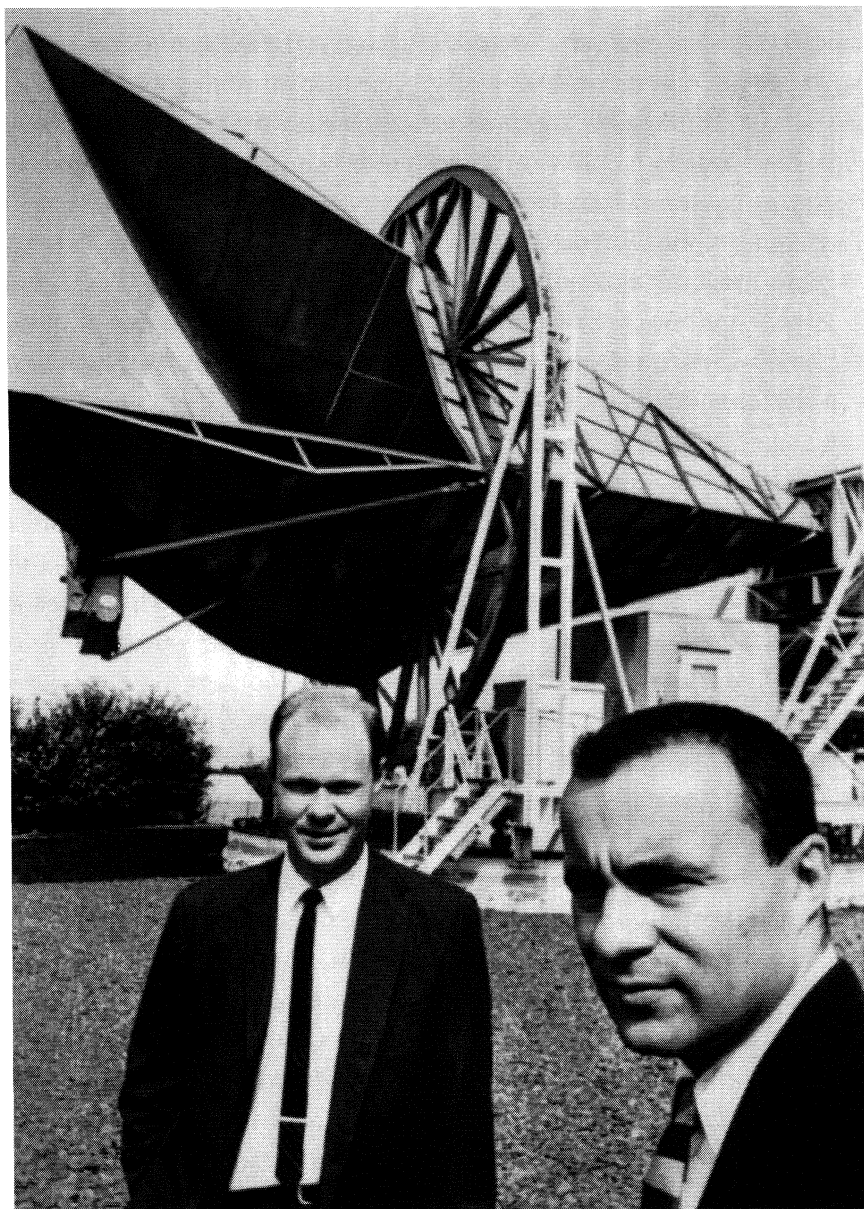
Wilson foi atraído para os Laboratórios Bell até certo ponto devido a sua antena de rádio, tipo corneta, de seis metros, situada em Crawford Hill, e mostrada na figura 95. Esta fora originalmente projetada para detectar os sinais do inovador satélite-balão Eco, lançado ao espaço em 1960. O Eco

fora espremido em uma esfera de 66 centímetros para ser colocado em órbita, mas uma vez no espaço inflara até se transformar num globo prateado de trinta metros de diâmetro, capaz de refletir passivamente os sinais entre um transmissor baseado em Terra e um receptor. Entretanto, uma intervenção do governo no setor das telecomunicações levou a AT&T a se retirar do projeto Eco por motivos econômicos, deixando a antena corneta livre para ser transformada em radiotelescópio. Esta era duplamente adequada para a radioastronomia: ficava bem protegida de interferências das rádios locais e seu tamanho significava que poderia localizar fontes de rádio celestes com boa precisão.

Penzias e Wilson receberam permissão dos Laboratórios Bell para passar algum tempo vasculhando o céu para estudar fontes de rádio. Mas, antes de fazer qualquer pesquisa séria, eles primeiramente tinham que entender o radiotelescópio e todas as suas manhas. Em especial queriam certificar-se de que a antena estava captando um nível mínimo de *ruído*, um termo técnico usado para descrever qualquer interferência aleatória que possa obscurecer um sinal.

Esse é exatamente o mesmo tipo de ruído que você pode encontrar quando sintonizar seu receptor de rádio doméstico em uma estação de rádio. O sinal da estação pode estar contaminado com um chiado, que é o ruído. Haverá sempre uma batalha entre o sinal e o ruído, e, preferivelmente, o sinal deve ser muito mais forte do que o ruído. É o que em geral acontece no caso de um receptor doméstico sintonizado em uma estação de rádio local, porque você pode ouvir o programa com muita clareza e o ruído é insignificante. Entretanto, se sintonizar uma estação de rádio estrangeira, o sinal poderá ser bem mais fraco e o nível de ruído terá um impacto mais sério na clareza da recepção. No pior caso, o sinal de rádio será completamente abafado pelo ruído, tornando impossível ouvir alguma coisa.

Na radioastronomia, os sinais de uma galáxia distante são tão fracos que a questão do ruído se torna fundamental. Para checar o nível de ruído, Penzias e Wilson apontaram seu radiotelescópio para uma parte do céu desprovida de radiogaláxias, uma região de onde não deveriam vir sinais de rádio. Daí que qualquer coisa que fosse detectada poderia ser atribuída ao ruído. Eles esperavam que o ruído fosse desprezível, e ficaram surpresos ao descobrir



**Figura 95** Robert Wilson (à esquerda) e Arno Penzias, posando em frente à antena corneta dos Laboratórios Bell em Crawford Hill, Nova Jersey. Este radiotelescópio é essencialmente um gigantesco receptor de rádio. Sua abertura é de seis metros quadrados e o equipamento de monitoração fica no barracão na ponta do cone.

um nível inesperado e incômodo de ruído. Era um desapontamento, mas o ruído não era tão alto que pudesse afetar as medições que tencionavam fazer. De fato, a maioria dos radioastrônomos teria ignorado o problema e embarcado em sua pesquisa. Contudo, Penzias e Wilson estavam determinados a fazer a pesquisa mais sensível possível, e resolveram imediatamente partir para localizar a fonte do ruído e, se possível, reduzi-lo ou removê-lo por completo.

Fontes de ruído podem ser largamente divididas em dois tipos. Primeiro, existe o ruído externo, que é causado por alguma coisa além do radiotelescópio, como uma grande cidade no horizonte ou algum equipamento elétrico próximo. Penzias e Wilson observaram a paisagem ao redor, em busca de qualquer fonte de ruído espúria, e até mesmo apontaram o telescópio na direção de Nova York, mas não houve aumento ou decréscimo do ruído. Eles também monitoraram o nível de ruído em relação ao tempo, mas novamente o ruído era contínuo. Em resumo, o ruído era sem dúvida constante não importava quando e para onde o telescópio era apontado.

Isso forçou a dupla a explorar a segunda categoria de ruído, ou seja, ruído inerente ao equipamento. O radiotelescópio consiste em numerosos componentes, cada um com potencial para gerar seu próprio ruído. Exatamente o mesmo problema acontece com seu receptor de rádio doméstico: mesmo que o sinal da estação de rádio seja forte, ele pode ser degradado pelo ruído gerado pelo amplificador, o alto-falante ou a fiação de seu rádio. Penzias e Wilson verificaram cada componente de seu radiotelescópio, procurando por contatos defeituosos, fiação malfeita, defeitos nos componentes eletrônicos, mal alinhamento do receptor e assim por diante. Cada junção que parecia estar perfeita foi coberta com fita de alumínio para garantir.

Num determinado ponto a atenção se voltou para um casal de pombos que tinham feito um ninho dentro da antena corneta. Penzias e Wilson acharam que “o material dielétrico branco” depositado pelos pombos e que sujou a corneta poderia ser a causa do ruído. Assim, eles prenderam os dois pássaros, colocaram em uma caminhonete de correspondência e os soltaram a cinquenta quilômetros dos Laboratórios Bell em Whippany, Nova Jersey. Depois limparam a antena até ficar brilhante, mas os pombos, seguindo seu instinto de orientação, voaram de volta para a corneta do telescópio e come-

çaram a depositar novamente o material dielétrico branco. Penzias capturou os pombos novamente e, com relutância, resolveu acabar com eles de uma vez. “Havia um sujeito que se ofereceu para estrangulá-los para nós, mas eu achei que a coisa mais humana era abrir a gaiola e atirar neles.”

Depois de um ano de verificações, limpeza e troca da fiação do radiotelescópio, houve uma redução no nível de ruído. Penzias e Wilson podiam atribuir parte do ruído remanescente a efeitos atmosféricos, e parte às paredes da corneta do radiotelescópio, e tinham que aceitar que ambas as fontes eram inevitáveis. Contudo, isso ainda não explicava todo o ruído que estavam detectando. Tinham dedicado uma imensa quantidade de tempo, esforço e dinheiro para compreender e minimizar o ruído de seu radiotelescópio, e no entanto restava um elemento do ruído que era ao mesmo tempo misterioso e incessante: alguma coisa, em algum lugar, de algum modo, estava emitindo ondas de rádio todo o tempo e de todas as direções.

O que os dois radioastrônomos frustrados não percebiam era que tinham tropeçado em uma das descobertas mais importantes da história da cosmologia. Eles estavam completamente inconscientes do fato de que o ruído onipresente era na verdade um remanescente do Big Bang: era o “eco” da uma fase inicial de expansão do universo. Esse “ruído” aborrecido se revelaria a evidência mais convincente de que o modelo do Big Bang era correto.

Como vocês se lembram, Gamow, Alpher e Herman tinham calculado que o universo passara por uma transição, cerca de 300 mil anos depois do Big Bang. Nessa ocasião a temperatura do universo teria caído para aproximadamente 3 mil graus Celsius, frio o bastante para que os elétrons que antes flutuavam livres se ligassem aos núcleos, formando átomos estáveis. O mar de luz que enchia o universo não poderia mais interagir com os elétrons carregados ou com os núcleos carregados, pois ambos tinham se unido para formar átomos neutros. E, desde esse momento na história do universo, conhecido como recombinação, a luz primordial pudera passar através do universo completamente imutável — a não ser num aspecto importante.

Gamow, Alpher e Herman tinham previsto que, à medida que o universo se expandia com o tempo, o comprimento de onda daquela luz primordial teria sido esticado enquanto o próprio espaço se esticava. A luz tivera um



comprimento de onda de aproximadamente um milésimo de milímetro quando emergira, originalmente, da neblina cósmica, quando o universo tinha 300 mil anos, mas, de acordo com o modelo do Big Bang, o universo desde então se expandira por um fator de mil. Portanto, aquelas ondas de luz teriam agora um comprimento de onda em torno de 1 milímetro, o que as colocaria na região de rádio do espectro eletromagnético.

O eco do Big Bang se transformara em ondas de rádio e estava sendo detectado como ruído pelo radiotelescópio de Penzias e Wilson. Essas ondas podem ser colocadas na subcategoria do espectro de rádio conhecido como microondas, motivo pelo qual este eco do Big Bang passou a ser conhecido como radiação cósmica de fundo em microondas ou RCFM. A existência ou não da RCFM era crítica para a discussão Big Bang *versus* estado estacionário e é listada como o quinto critério na tabela 4, páginas 344-345.

Embora a existência da radiação RCFM tivesse sido claramente prevista na década de 1940, a comunidade científica se esquecera dela nos anos 1960. É por isso que Penzias e Wilson não fizeram a ligação entre seu ruído de rádio e o modelo do Big Bang. Contudo, diga-se em seu favor que eles se recusaram a ignorar o misterioso ruído de rádio e continuaram preocupados e perplexos. Continuaram a discutir o problema e a falar com seus colegas.

No final de 1964, Penzias foi a uma conferência sobre radioastronomia em Montreal, onde mencionou, por acaso, o problema do ruído para Bernard Burke, do Instituto de Tecnologia de Massachusetts. Dois meses depois, Burke lhe telefonou empolgado. Tinha recebido o esboço preliminar de um trabalho descrevendo a pesquisa dos cosmólogos Robert Dicke e James Peebles, da Universidade de Princeton. O artigo explicava que a equipe de Princeton estivera estudando o modelo do Big Bang e percebera que deveria existir uma onipresente RCFM, que atualmente se revelaria um sinal de rádio com o comprimento de onda de um milímetro. Dicke e Peeble não tinham idéia de que estavam repetindo os passos, dados há 15 anos, por Gamow, Alpher e Herman. De modo atrasado e independente, eles estavam repostulando a RCFM. Dicke e Peebles também não tinham idéia de que Penzias e Wilson tinham detectado a RCFM nos laboratórios Bell.

Para resumir, Gamow, Alpher e Herman tinham previsto a RCFM em 1948. Mas todos tinham esquecido tal previsão no espaço de uma década.

Então, em 1964, Penzias e Wilson descobriram a RCFM mas não perceberam isso. Quase ao mesmo tempo, Dicke e Peebles previram a radiação RCFM, sem saber que a previsão já tinha sido feita em 1948. Por fim, Burke contou a Penzias sobre a previsão de Dicke e Peebles.

De repente, tudo se encaixava para Penzias. Finalmente ele compreendia a fonte de ruído que infestava seu radiotelescópio e percebia como era significativa. Finalmente o mistério do ruído onipresente fora resolvido. Não tinha nada a ver com pombos, fiação ruim ou Nova York, mas tinha tudo a ver com a criação do universo.

Penzias telefonou para Dicke e contou-lhe que detectara a RCFM descrita no trabalho de Princeton. Dicke ficou perplexo, sobretudo pelo momento em que recebera a chamada telefônica de Penzias. Esta interrompera uma reunião, na hora do almoço, que fora convocada para discutir a construção de um detector de RCFM em Princeton, porque Dicke e Peebles queriam testar sua própria previsão. Contudo, tal detector era agora inútil porque Penzias e Wilson já tinham verificado a previsão. Dicke colocou o fone no gancho, virou-se para seu grupo e exclamou: “Rapazes, temos um furo de reportagem!”. Sem perder tempo, Dicke e sua equipe visitaram Penzias e Wilson no dia seguinte. Uma inspeção no radiotelescópio e um exame nos dados confirmaram a descoberta. A corrida para encontrar a RCFM terminara e, sem querer, os Laboratórios Bell tinham vencido seus rivais de Princeton.

No verão de 1965, Penzias e Wilson publicaram seus resultados no *Astrophysical Journal*. O trabalho modesto, de seiscentas palavras, anunciava, de um modo conservador, exatamente o que eles tinham detectado, sem oferecer qualquer interpretação pessoal. Isso foi deixado para Dicke e sua equipe, que publicaram um trabalho-irmão, na mesma revista, ligando explicitamente as observações de Penzias e Wilson à RCFM. Eles explicavam como a dupla dos Laboratórios Bell tinha descoberto o eco previsto do Big Bang. Fora um belo casamento. A equipe de Dicke tinha a teoria, mas não tinha os dados observacionais, enquanto Penzias e Wilson tinham os dados observacionais mas não tinham a teoria. Juntar as pesquisas de Princeton e dos Laboratórios Bell transformara um problema irritante em um tremendo triunfo.

O modelo do Big Bang previa claramente a existência da RCFM e o comprimento de onda que teria hoje. Em contraste, o modelo do estado estacionário não mencionava a RCFM e não podia conceber um cenário no qual o universo estivesse cheio de microondas. Conseqüentemente, a descoberta da RCFM parecia ser a evidência decisiva provando que o universo começara há bilhões de anos com um todo-poderoso Big Bang.

Portanto, a descoberta da RCFM também desmentia o modelo do estado estacionário. A euforia de Wilson, ao estabelecer a existência da RCFM e a veracidade da teoria do Big Bang, foi marcada pela tristeza porque ele sempre tivera uma simpatia pelo modelo do estado estacionário: “Aprendi minha cosmologia com Hoyle no Caltech, e gostava muito do universo do estado estacionário. Filosoficamente eu ainda gosto dele”.

Sua tristeza, sem dúvida, foi moderada pelos aplausos que logo chegaram. O astrônomo Robert Jastrow, da Nasa, disse que Penzias e Wilson tinham feito “uma das maiores descobertas nos quinhentos anos da astronomia moderna”. E o físico de Harvard, Edward Purcell, estava preparado para ir mais longe em seu elogio pela detecção da RCFM: “Talvez seja a mais importante façanha já observada”.

E, no entanto, o resultado fora o produto de pura sorte. Penzias e Wilson tinham sido agraciados pela serendipidade. Seu objetivo primário fora realizar uma pesquisa-padrão de radioastronomia, mas sua maior distração revelou-se sua maior descoberta. Três décadas antes, Karl Jansky fizera outra descoberta fortuita nos Laboratórios Bell e inventara a radioastronomia; agora, a serendipidade atacara de novo, na mesma disciplina científica e no mesmo estabelecimento de pesquisa. E, dessa vez, a descoberta era ainda mais magnífica.

A RCFM estava esperando para ser descoberta por alguém que apontasse uma antena sensível o bastante para o cosmos, e, por acaso, isso acontecera com Wilson e Penzias. Contudo, eles não precisavam se envergonhar da natureza casual de sua descoberta, porque esse tipo de acontecimento não exige apenas sorte, mas também considerável experiência, conhecimento, tenacidade e discernimento. Existe forte evidência de que o francês Emile Le Roux, em 1955, e o ucraniano Tigran Shmaonov em 1957, detectaram separadamente a RCFM durante suas pesquisas radioastronômicas, mas ambos desprezaram o ruído aparente como um defeito menor de sua instrumentação,

que estavam preparados para tolerar. Eles não tinham a determinação, a persistência e o rigor que permitiram que Penzias e Wilson descobrissem a RCFM.

Antes mesmo que o trabalho fosse publicado, as notícias da descoberta de Penzias e Wilson se espalharam rapidamente pela comunidade cosmológica. A história chegou ao público em geral no dia 21 de maio de 1965 graças a uma matéria de primeira página no *New York Times* que exibia a manchete SINAIS IMPLICAM UNIVERSO DO “BIG BANG”. Os leitores ficaram fascinados pela descoberta porque esta tinha um significado cósmico e no entanto certo charme caseiro. Como explicou Penzias:

Quando você sair hoje à noite, e tirar o seu chapéu, estará recebendo um pouco do calor do Big Bang bem no seu couro cabeludo. E, se tiver um receptor FM muito bom e sintonizá-lo entre duas estações, ouvirá aquele chiado. Provavelmente você já ouviu esse chiado. Tem um efeito calmante. Às vezes não é muito diferente do barulho das ondas do mar. E, do som que estará ouvindo, cerca de metade de um por cento daquele ruído estará vindo de bilhões de anos atrás.

O artigo no *New York Times* era um apoio informal ao modelo de criação do Big Bang. Einstein, Friedmann e Hubble, que tinham contribuído para o modelo do Big Bang, não estavam mais vivos para ver sua confirmação. O único dos pais fundadores que sobrevivera para testemunhar a conclusão do maior debate cosmológico da história era Georges Lemaître, que fora um pioneiro do Big Bang em bases teóricas. Ele se recuperava de um ataque cardíaco no hospital da Universidade de Louvain quando ouviu a notícia de que a RCFM fora detectada. Morreria um ano depois, aos 71 anos, tendo levado uma vida de sacerdote leal e cosmólogo devotado.

Quando Gamow, Alpher e Hermann ficaram sabendo da descoberta da RCFM, sua alegria foi misturada com alguma amargura. Eles tinham previsto esse eco do Big Bang bem antes de Dicke e Peebles, mas não receberam nenhum reconhecimento por seus esforços pioneiros. Não eram nem mencionados no par inicial de artigos anunciando a descoberta no *Astrophysical Journal*; e seus nomes não apareceram no resumo subsequente de Dicke

para a revista *Scientific American*. De fato, os artigos acadêmicos ou de divulgação não mencionaram Gamow, Alpher e Herman no clamor que se seguiu à descoberta de Penzias e Wilson.

Em vez disso, os teóricos associados à descoberta eram Dicke e Peebles. Os dois sem dúvida eram cosmólogos brilhantes, mas tinham apenas percorrido uma trilha já aberta em 1948. O problema é que a cosmologia fora dominada por uma nova geração de físicos, que, simplesmente, não estavam familiarizados com o trabalho de Gamow, Alpher e Herman.

Gamow tentou, sempre que possível, estabelecer a prioridade da previsão do eco do Big Bang para a sua equipe. Por exemplo, quando a RCFM estava sendo discutida em uma conferência de astrofísica, no Texas, perguntaram a Gamow se a radiação recentemente descoberta era, de fato, o fenômeno que ele, Alpher e Herman tinham previsto. Gamow subiu ao pódio e respondeu: “Bem, eu perdi um níquel em algum lugar aqui e agora um níquel foi encontrado no mesmo local em que o perdi. Sei que todas as moedas parecem iguais, mas acho que é o meu níquel”.

Quando Penzias por fim ouviu sobre a previsão original da radiação RCFM de 1948, enviou uma nota conciliatória para Gamow, pedindo mais informações. Gamow ofereceu uma descrição detalhada de sua pesquisa anterior, com a observação: “Assim, como pode ver, o mundo não começou com o todo-poderoso Dicke”.

Ralph Alpher ficou ainda mais indignado, porque ele fora em grande medida o responsável pelo programa de pesquisa que previra a RCFM, e no entanto recebeu menos reconhecimento do que Gamow. Ainda era um jovem quando fizera a previsão, e estava portanto sempre à sombra de Gamow. Pior ainda, a piada com a autoria pela equipe Alpher, Bethe, Gamow (Alfa-Beta-Gama) no trabalho associado sobre nucleossíntese o colocara mais abaixo na ordem de reconhecimento.

Quando um jornalista perguntou mais tarde a Alpher se ele se sentira ofendido quando Penzias e Wilson deixaram de reconhecer sua contribuição, ele falou com franqueza: “Se eu fiquei magoado? Sim! Como diabos eles acham que me senti? Fiquei aborrecido porque eles nem mesmo nos convidaram para ver o maldito radiotelescópio. É tolice ficar aborrecido, mas eu fiquei”.

Em seu *Genesis of the Big Bang*, um relato de seu trabalho, Alpher e Herman são mais ponderados:

Fazemos ciência por dois motivos: pela emoção de compreender e medir alguma coisa pela primeira vez, e, tendo feito isso, pelo menos pelo reconhecimento, senão a aprovação, de nossos colegas. Alguns cientistas dizem que o progresso da ciência é tudo o que importa, e que tem pouca importância quem fez o quê. Mas eu não deixo de notar que esses mesmos colegas ficam satisfeitos com o reconhecimento de seu trabalho e aceitam com prazer e entusiasmo essas aprovações, como a eleição para prestigiadas academias científicas.

Enquanto isso, o reconhecimento de Penzias e Wilson culminou, uma década após sua descoberta, com o Prêmio Nobel de física de 1978. Naqueles dez anos, os astrônomos tinham aperfeiçoado suas medições da RCFM e verificado com precisão que todos os seus aspectos correspondiam ao que fora previsto pelo modelo do Big Bang. A RCFM e, portanto, o modelo do Big Bang eram aparentemente genuínos.

Penzias usou a cerimônia de entrega do prêmio como oportunidade para homenagear seus pais, que o tinham salvado da Alemanha nazista e trazido para Nova York.

Eu queria, se posso chamar assim, um *smoking* judaico, alguma coisa feita no bairro dos alfaiates. Minha mãe trabalhou lá, e toda uma geração de imigrantes judeus mandou a geração seguinte para a faculdade trabalhando lá. Eu não queria usar um traje a rigor comprado em Princeton, ou em alguma loja chique de Nova York, onde ele vai ser vendido por alguém que fará você sentir vergonha das roupas que está usando quando entrar lá para comprar. Eu queria que aquele traje fosse eu e não algum tipo de fantasia.

Ele também usou o discurso da premiação do Nobel como oportunidade de esclarecer tudo, reconhecendo e elogiando a contribuição feita por Gamow, Alpher e Herman. Penzias fez um resumo histórico do desenvolvimento e da comprovação do modelo do Big Bang, baseado, principalmente, em uma longa conversa que tivera com Alpher algumas semanas antes. Parecia que

Alpher tinha, afinal, encontrado um meio de fazer as pazes com a comunidade dos físicos.

Alguns meses depois, contudo, Alpher sofreu um grave ataque cardíaco. Talvez tenha ficado esgotado com a tensão de lutar pelo reconhecimento. Talvez a decepção de não ter partilhado um prêmio Nobel tivesse se mostrado demasiada. Aos poucos ele se recobrou, mas continuaria a sofrer com a saúde frágil.

## Um enrugamento necessário

O Prêmio Nobel para Penzias e Wilson marcou o ponto no qual o modelo do Big Bang se tornou parte da principal corrente científica. No devido tempo, esse modelo de criação cósmica seria reconhecido até no Museu Nacional do Ar e do Espaço do Smithsonian Institute. Não é fácil criar uma mostra que represente a teoria e a observação subjacentes ao modelo do Big Bang, mas os curadores tomaram algumas decisões imaginativas. O Smithsonian escolheu exibir a garrafa de Cointreau com a qual Gamow e Alpher tinham celebrado sua descoberta na nucleossíntese, mostrada na figura 82 (ver p. 314). Idealmente, o museu também devia ter instalado o radiotelescópio de seis metros dos Laboratórios Bell, usado para detectar a RCFM, mas isso não era prático. Em vez da antena, eles colocaram em exibição a arapuca para pombos que Penzias e Wilson tinham usado durante a operação para redução do ruído, e que é mostrada na figura 96.

A detecção da RCFM dera aos cosmólogos uma nova confiança. A radiação não somente existia, mas existia no comprimento de onda esperado. Além de implicar que o modelo do Big Bang estava correto, na maior parte, também significava que os cosmólogos entendiam alguns dos detalhes de como a temperatura e a densidade do universo tinham evoluído no rastro do Big Bang.

Para a maioria dos pesquisadores, a RCFM era uma evidência conclusiva a favor de um momento de criação e de um universo em evolução, em oposição ao universo eterno que era, essencialmente, imutável. À medida que os anos passavam, um número cada vez maior de cientistas abandonou o esta-

do estacionário em favor do modelo do Big Bang. Em 1959, no auge da controvérsia Big Bang *versus* estado estacionário, uma pesquisa fora feita com os astrônomos americanos, e a mesma pesquisa foi repetida depois que Penzias e Wilson ganharam o Nobel, em 1980. Em 1959, os resultados tinham mostrado que 33% dos astrônomos apoiavam o Big Bang, 24% eram a favor do estado estacionário e 43% estavam indecisos. Na pesquisa de 1980, 69% dos astrônomos apoiavam o Big Bang e só 2% ainda se agarravam ao estado estacionário, com 29% de indecisos.

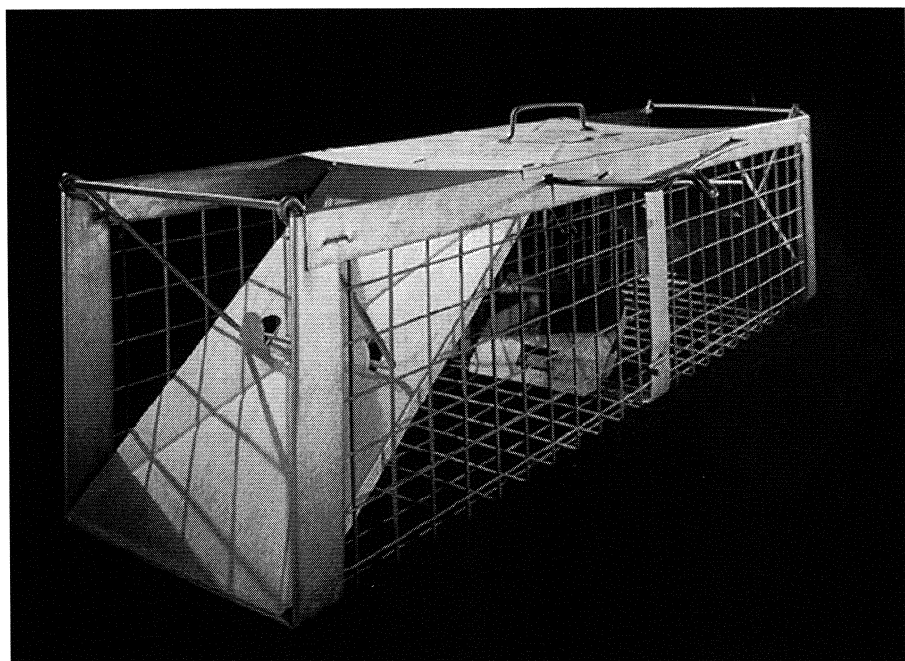


Figura 96 A histórica arapuca para pombos Hav-A-Heart que foi usada para remover os pombos do radiotelescópio do Laboratórios Bell, parte do esforço concentrado para explicar a misteriosa fonte de rádio detectada por Penzias e Wilson. A armadilha encontra-se agora em exibição no Museu Nacional do Ar e do Espaço do Smithsonian Institute.

Um dos que mudaram de lado foi o pioneiro do estado estacionário, Hermann Bondi, que certa vez dissera: “Se houve um Big Bang, mostre-me alguns vestígios fósseis dele”. Agora, ele tinha que aceitar que a RCFM era o



fóssil perfeito, e deixou de acreditar no modelo que ajudara a criar. Thomas Gold, entretanto, manteve sua fé: “Eu não consigo ver nada de errado com a teoria do estado estacionário. Não sou afetado pelo número de pessoas que acreditam em alguma coisa. A ciência não avança com as pesquisas do Gallup”.

De modo semelhante, Hoyle continuou a zombar do modelo do Big Bang e daqueles que acreditavam nele: “Essa paixão frenética com a qual a cosmologia do Big Bang é colocada no peito da corporação científica surge, evidentemente, de uma ligação enraizada com a primeira página do Gênesis, é o fundamentalismo religioso na sua maior força”.

Se Hoyle ia mudar a maré da opinião e vencer o argumento, ele teria que fazer mais do que caluniar os defensores do Big Bang. Trabalhando com colegas como Jayant Narlikar, Chandra Wickramasinghe e Geoffrey Burbidge, ele adaptou e transformou o modelo original do estado estacionário em outro que começava a parecer mais compatível com as observações astronômicas. O novo modelo do estado quase estacionário exigia um universo que tinha fases regulares de contração entre a expansão a longo prazo. E, em lugar de afirmar que a matéria era criada continuamente, o modelo revisado dependia da matéria sendo criada em descargas intensas. Apesar dessas modificações, o modelo de universo do estado quase estacionário não conseguiu conquistar um apoio amplo.

Apesar disso, Hoyle continuou a defender o seu modelo:

Acho justo dizer que a teoria demonstrou forte capacidade de sobrevivência, e isso é uma coisa que se deve procurar em uma teoria. Existe um forte paralelo entre teoria e observação de um lado e mutações e seleção natural, de outro. A teoria fornece as mutações, a observação fornece a seleção natural. Nunca se prova que uma teoria é certa. O melhor que elas podem fazer é sobreviver.

Mas o modelo do estado estacionário e sua reencarnação do estado quase estacionário mal conseguiam sobreviver. Qualquer observador isento poderia ver que estavam à beira da extinção, enquanto o modelo do Big Bang não apenas sobrevivia, mas prosperava.

O universo simplesmente fazia mais sentido no contexto do modelo do Big Bang. Por exemplo, em 1823, quando os cientistas presumiam que o universo era infinito e eterno, o astrônomo alemão Wilhelm Olbers perguntou-se por que o céu noturno não estava brilhando com a luz das estrelas. Ele raciocinou que um universo infinito conteria um número infinito de estrelas, e que, se o universo era infinitamente velho, então isso permitiria uma quantidade infinita de tempo para que a luz dessas estrelas chegasse até nós. Daí que o nosso céu noturno deveria estar inundado pela quantidade infinita de luz vinda de todas essas estrelas.

A óbvia ausência dessa luz infinita do espaço é conhecida como *paradoxo de Olbers*. Existem vários modos de se explicar por que o céu noturno não é infinitamente brilhante, mas a explicação do Big Bang talvez seja a mais convincente de todas. Se o universo foi criado há alguns bilhões de anos, então a luz estelar só teria tido tempo de chegar até nós de um volume limitado de espaço, porque a luz viaja a apenas 300.000 km/s. Em resumo, uma idade finita para o universo e uma velocidade da luz finita resultam em um céu noturno com apenas uma quantidade finita de luz, que é o que observamos.

O modo mais claro de ilustrar a superioridade do Big Bang sobre o estado estacionário é voltar à nossa tabela de critérios críticos, que apareceu no começo deste capítulo (tabela 4, pp. 344-345). Esta apresentava o estado do debate em 1950, com algumas descobertas favorecendo o Big Bang e outras apoiando o modelo do estado estacionário. Desde então, contudo, cada nova observação pareceu apoiar o Big Bang e abalar o modelo do estado estacionário, como demonstrado na tabela 6 (pp. 411-412), que mostra o estado da disputa em 1978, quando Penzias e Wilson ganharam o seu Prêmio Nobel.

Sob esses sete critérios decisivos, o modelo do Big Bang era o mais forte em quatro casos. Os três critérios remanescentes podem ser julgados na base de uma vitória direta para o modelo do estado estacionário, um sucesso para ambos os modelos e um fracasso para os dois modelos.

Deixando de lado a questão da criação, que permaneceu difícil para ambos os modelos, os cosmólogos voltaram sua atenção para a única questão problemática para o modelo do Big Bang. Não estava claro como um universo criado a partir de um Big Bang poderia evoluir para formar galáxias. Hoyle



Figura 97 Fred Hoyle, com seu amigo e colega Jayant Narlikar, que o ajudou a desenvolver o modelo do universo do estado quase estacionário. Sua teorização no quadro negro é alimentada por uma xícara de chá.

certa vez apontara: “Se você postular uma explosão de violência suficiente para explicar a expansão do universo, condensações, semelhantes a galáxias, nunca teriam se formado”. Em outras palavras, Hoyle se queixava de que o Big Bang era absurdo porque teria dispersado toda a matéria, criando um universo com uma fina e dispersa substância, em oposição a um universo com sua matéria concentrada em galáxias.

Os defensores do Big Bang eram forçados a concordar que o Big Bang teria resultado, pelo menos inicialmente, numa sopa uniforme de matéria que, de fato, teria sido dispersa pela expansão cósmica. O desafio para o modelo do Big Bang era claro — como o universo criado com um panorama de uniformidade sem paralelo poderia evoluir para um universo povoado por galáxias maciças separadas por vastos vazios.

Os cosmólogos do Big Bang se confortaram com a esperança de que o universo primordial, embora muito uniforme, não teria sido perfeitamente uniforme. Eles estavam otimistas de que, de algum modo, o universo primordial tivera sua homogeneidade perturbada de algum maneira bem pequena. Se esse fosse o caso, então eles imaginavam que as mais minúsculas variações imagináveis na densidade teriam sido suficientes para disparar a evolução necessária ao universo.

Regiões levemente mais densas teriam atraído matéria pela força da gravidade, tornando essas regiões ainda mais densas, e portanto atraindo ainda mais matéria, e assim por diante até que as primeiras galáxias se formaram. Em outras palavras, se os cosmólogos postulassem as menores variações de densidade, então não era difícil imaginar como a gravidade teria levado o universo a formar ricas e complexas estruturas e subestruturas.

[illegible]

Tabela 6

Esta tabela enumera os vários critérios pelos quais os modelos do Big Bang e do estado estacionário podem ser julgados. Isso diante dos dados disponíveis em 1978, e é uma versão atualizada da Tabela 4 (pp. 344-345). Os “v”s e as cruzes dão uma tosca indicação de quão bem cada modelo se saía em relação a cada critério e o ponto de interrogação indica uma ausência de dados ou uma mistura de acordo e desacordo.

Critério	Modelo do Big Bang	Sucesso
1. Desvio para o vermelho e universo em expansão	Esperado de um universo que foi criado num estado denso e então se expande.	√
2. Abundância de átomos	As proporções observadas de átomos leves (i.e. hidrogênio e hélio) estão muito próximas das previsões feitas por Gamow e seus colegas; átomos mais pesados são produzidos nas estrelas.	√
3. Formação de galáxias	A expansão do Big Bang poderia ter desfeito as galáxias-bebês antes que elas pudessem crescer, não obstante as galáxias evoluíram, mas ninguém pode explicar como.	X
4. Distribuição das galáxias	A distribuição das galáxias varia com a distância, como mostrado por Ryle; galáxias jovens (como quasares) são observadas mas apenas a grandes distâncias, já que teriam existido apenas após o Big Bang.	√
5. Radiação cósmica de fundo em microondas (RCFM)	O eco do Big Bang foi previsto por Gamow, Alpher e Herman e encontrado por Penzias e Wilson.	√
6. Idade do universo	Medições recentes de idade mostram que os objetos no universo são mais jovens do que o próprio universo, assim tudo é coerente.	√
7. Criação	Ainda não existe explicação para a criação do universo.	?

<b>Critério</b>	<b>Modelo do estado estacionário</b>	<b>Sucesso</b>
1. Desvio para o vermelho e expansão do universo	Esperado de um universo eterno que se expande, com matéria nova sendo criada nos vazios.	✓
2. Abundância de átomos	Não pode realmente explicar a abundância de átomos leves observada; átomos mais pesados são produzidos nas estrelas	X
3. Formação de galáxias	Existe mais tempo e nenhuma expansão inicial violenta; isso permite às galáxias se desenvolverem e morrerem, para serem substituídas pelas novas galáxias construídas a partir da matéria criada.	✓
4. Distribuição das galáxias	Galáxias jovens deveriam ter uma distribuição uniforme, porque elas podem nascer em qualquer parte e em qualquer tempo da matéria criada nos espaços entre as galáxias velhas, mas isso não é pela observação	X
5. Radiação cósmica de fundo em micro-ondas (RCFM)	Não pode explicar a RCFM observada.	X
6. Idade do universo	Não há evidência de nada mais antigo que 20 bilhões de anos, e no entanto se supõe que o universo seja infinitamente velho	?
7. Criação	Ainda não há explicação para a criação contínua de matéria	?

Isso significa que existem regiões do universo, em particular aquelas que habitamos, que são 1 milhão, de milhão, de milhão, de milhão de milhão de vezes mais densas do que a densidade média.

Assim, a narrativa do Big Bang era de que o universo primordial consistia na mais uniforme, harmonizada, coerente e contínua sopa de matéria concebível; minúsculas variações neste mar quase homogêneo teriam iniciado a corrente de eventos que levou, em alguns bilhões de anos, a um universo onde existem maciças discrepâncias entre galáxias de alta densidade e vazios de densidade quase zero.

Para provar que essa tremenda transição de fato aconteceu, os cosmólogos do Big Bang teriam que encontrar evidências das variações de densidade que iniciaram a formação das galáxias. De outro modo, sem indícios seguros dessas flutuações, o modelo do Big Bang continuaria aberto às críticas dos poucos defensores do estado estacionário, como Hoyle.

O lugar óbvio para procurar por indícios das flutuações no universo primordial era na mais antiga relíquia do universo, ou seja, na RCFM. Essa radiação foi liberada num momento específico da história do universo, assim ela agora serve como um fóssil, indicando o estado do universo, como era quando os átomos se formaram pela primeira vez, cerca de 300 mil anos depois do momento da criação. Ao detectarem essa RCFM, os radioastrônomos estavam efetivamente olhando para trás no tempo e vendo o universo num estágio bem inicial de sua evolução. O modelo do Big Bang estima que o universo tenha, pelo menos, 10 bilhões de anos, assim, conseguir ver o universo quando ele tinha apenas 300 mil anos é equivalente a ver o universo quando ele tinha apenas 0,003% de sua idade atual. Vamos dar ao universo uma escala de tempo mais humana, imaginando-o agora como uma pessoa de setenta anos de idade — a RCFM teria sido criada quando o universo era um bebê recém-nascido, com algumas horas de idade.

Pode não ser imediatamente óbvio que observar a RCFM é equivalente a olhar para trás no tempo, mas exatamente a mesma coisa acontece quando os astrônomos observam uma estrela distante. Se a estrela estiver a cem anos-luz de distância, então sua luz terá levado cem anos para chegar até aqui, assim só podemos ver a estrela como ela era há cem anos. De modo semelhante, se a RCFM foi liberada há bilhões de anos, ela levou bilhões de anos

para chegar até nós. Então, quando os astrônomos finalmente a detectaram, eles estavam na verdade percebendo o universo como era há bilhões de anos, quando ele tinha apenas 300 mil anos.

Se havia variações de densidade nesse momento da história do universo, teriam sido impressas na RCFM que vemos hoje em dia. Isso porque um trecho do universo que tinha uma densidade ligeiramente maior do que a média — um acúmulo — teria um efeito bem definido na RCFM que dele emergiu. A radiação dessa região teria experimentado uma dificuldade maior para escapar da atração gravitacional extra causada pela densidade acima da média daquela condensação. Portanto, a radiação emergente teria perdido um pouco de energia ao escapar do trecho denso, o que resultaria num comprimento de onda levemente mais longo.

Assim, examinando a RCFM vinda de regiões diferentes do universo, os astrônomos esperavam detectar leves variações no comprimento de onda. A radiação que chegasse de uma dada direção, com um comprimento de onda levemente maior, indicaria que ela saíra de uma parte do universo ancestral levemente mais densa. Enquanto a radiação de uma direção diferente, com um comprimento de onda ligeiramente mais curto, indicaria que ela emergiria de uma parte do universo ancestral ligeiramente menos densa. Se pudessem encontrar essas variações no comprimento de onda da RCFM, os astrônomos conseguiriam provar que havia variações de densidade no universo ancestral que teriam de fato servido como sementes para as galáxias. E o modelo do Big Bang se tornaria mais provável.

Penzias e Wilson tinham provado que a RCFM existia e que tinha, aproximadamente, o comprimento de onda certo, mas agora os astrônomos começavam a medi-la com precisão cada vez maior, tentando mostrar que a radiação vinda de uma parte do universo tinha um comprimento de onda ligeiramente diferente da radiação vinda de outra parte. Infelizmente, a RCFM parecia ser a mesma para onde quer que eles olhassem. Supunha-se que fosse aproximadamente uniforme porque o universo primordial fora muito semelhante em todos os pontos do espaço, mas as medições mostravam que a radiação de cada região não era apenas semelhante, mas idêntica. Não havia sinal do mais minúsculo aumento ou redução do comprimento de onda.



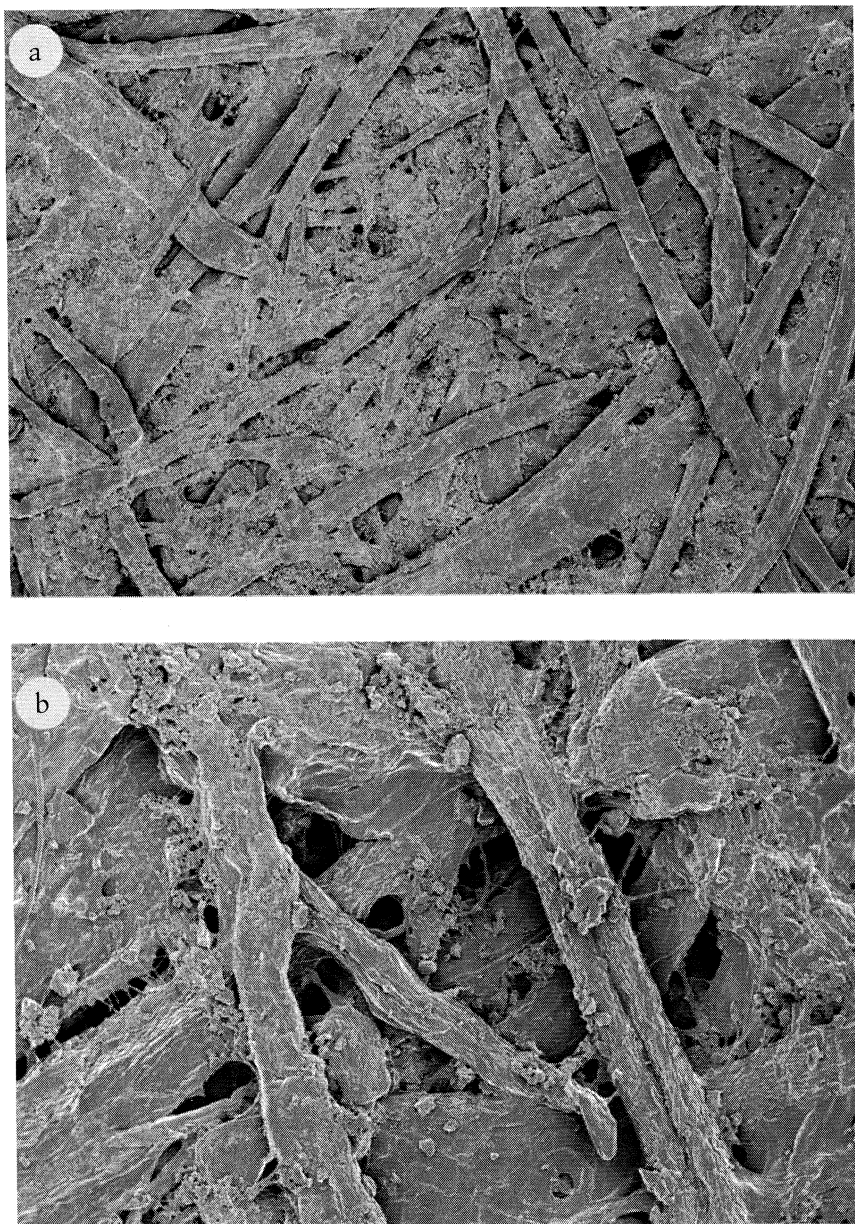
Os defensores do estado estacionário consideraram tal resultado negativo como prejudicial para o modelo do Big Bang, porque nenhuma variação no comprimento de onda da RCFM, hoje, significava que não existiram variações de densidade no universo primordial, o que resultava em nenhuma explicação para as galáxias que vemos hoje em dia.

Mas a grande maioria dos cosmólogos não entrou em pânico. Eles argumentavam que as variações deveriam estar presentes, mas eram muito pequenas para serem detectadas porque a tecnologia de observação era muito tosca. Esse parecia ser um argumento razoável. Por exemplo, o papel no qual esta página foi impressa parece perfeitamente uniforme, mas, com equipamento bastante sensível, suas variações superficiais tornam-se aparentes, como mostrado na figura 98. Talvez a mesma coisa se revelasse verdadeira para a RCFM, e as variações seriam reveladas com uma inspeção mais apurada.

Na década de 1970, os equipamentos mais modernos eram bem sensíveis para detectar potenciais diferenças na radiação RCFM até uma parte em cem, mas ainda não havia sinal algum de variação. Isso ainda deixava aberta a possibilidade de variações menores do que uma parte em cem, mas detectar tais variações seria impossível da superfície da Terra. O problema é que a RCFM se encontra na região de microondas do espectro eletromagnético, e a umidade na atmosfera emite continuamente microondas, que, embora muito fracas, seriam suficientes para encobrir quaisquer variações minúsculas na radiação RCFM que pudessem existir.

Uma solução inovadora era projetar um detector de RCFM que pudesse ser erguido no ar por um balão gigante, cheio de hélio, capaz de subir a dezenas de quilômetros acima da Terra, quase na borda do espaço. Um detector suspenso num balão teria a vantagem de flutuar em uma região da atmosfera que praticamente não continha umidade, e que portanto teria poucas microondas atmosféricas.

Contudo, as experiências com balões são cheias de dificuldades. O frio intenso pode partir a cola e fazer os detectores se desmancharem. E, se houvesse uma falha no equipamento, os astrônomos não poderiam fazer nada. Mesmo que o equipamento funcionasse normalmente, o detector só poderia operar por algumas horas antes que o balão descesse. E, o pior de



**Figura 98** Ampliando-se o papel aparentemente liso por um fator de aproximadamente 250, como no diagrama (a), revela-se sua estrutura e variação. Uma ampliação de aproximadamente mil, como no diagrama (b), revela ainda mais detalhes.

tudo, a gôndola contendo o detector poderia espatifar-se no chão, e acabar sendo perdida ou destruída, com o desperdício de anos de preparativos cuidadosos.

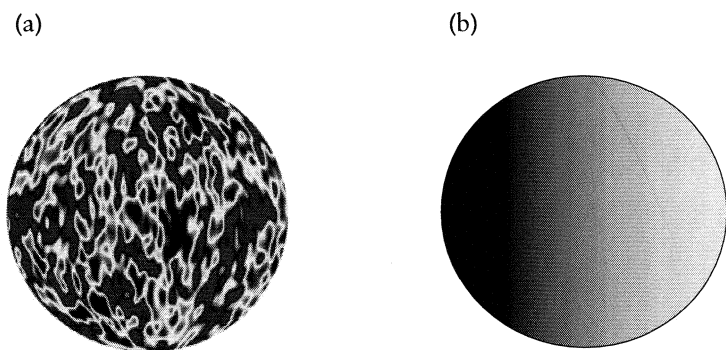
George Smoot, da Universidade da Califórnia, em Berkeley, que se tornara obcecado com a busca pelas variações na RCFM, tomou parte em várias experiências com balões de grande altitude, mas se desiludiu com eles em meados dos anos 1970. Suas experiências com balões regularmente terminavam em desastre, e aqueles que pousavam inteiros não revelavam nenhuma variação na RCFM. Assim, Smoot adotou uma nova estratégia. Ele planejou instalar um detector de microondas a bordo de um avião, de modo a poder fazer observações durante um período maior e com maior confiabilidade. Tinha que ser melhor do que suspender perigosamente um experimento debaixo de um frágil balão.

Smoot tentou identificar uma aeronave com capacidade para alcançar grandes altitudes, e que também fosse capaz de ficar no ar por longos períodos, os dois critérios necessários para medições eficazes da RCFM. No final, ele decidiu que o veículo ideal era o avião de reconhecimento Lockheed-Martin U-2, que ficara famoso com suas missões de espionagem durante a guerra fria. Fez então uma abordagem formal à Força Aérea dos Estados Unidos e, para sua surpresa, eles responderam positivamente. Ficaram encantados com a idéia de tomar parte em um projeto de pesquisa que poderia romper o que se tornara o maior mistério da cosmologia. As altas patentes militares ficaram tão cooperativas que até mesmo revelaram a Smoot a existência de uma supersecreta janela de observação superior, que poderia ser instalada no U-2 para dar ao equipamento uma visão clara do céu. A escotilha fora originalmente projetada para ser usada somente durante os testes com mísseis balísticos intercontinentais, quando a tarefa do U-2 era monitorar sua reentrada.

As experiências anteriores, com balões, tinham usado detectores bem toscos, porque ninguém queria investir muito dinheiro em equipamento que podia terminar se espatifando no chão. Agora que tinha uma plataforma aérea mais confiável, Smoot construiu um detector de RCFM usando a tecnologia mais moderna. Era possível comparar as microondas chegando de duas direções diferentes com maior sensibilidade do que antes.

A experiência foi levada a bordo do U-2 em 1976 e, em poucos meses, Smoot e seus colegas tinham descoberto uma notável variação na RCFM. A radiação vinda de um lado do céu tinha um comprimento de onda que era uma parte em mil mais longa que a radiação vinda do lado oposto. Era um resultado importante, mas *não* era o que Smoot estava procurando.

As variações que teriam semeado o universo de galáxias seriam muito irregulares e teriam se mostrado como uma colcha de retalhos de regiões espalhadas a esmo pelo céu. Contudo, Smoot tinha detectado uma variação muito simples, em duas partes. A diferença entre o que era observado e o que os cosmólogos de fato queriam está mostrada na figura 99.



**Figura 99** Estas duas esferas representam dois mapas diferentes de RCFM. Do nosso ponto de vista na Terra, no centro das esferas, estamos olhando para o espaço e o sombreado representa um valor médio no comprimento de onda da RCFM que vemos chegando de direções diferentes. Um tom mais escuro representa uma média nos comprimentos de onda ligeiramente mais longa, enquanto um tom mais claro representa uma média nos comprimentos de onda levemente mais curta.

O mapa (a) mostra uma colcha de retalhos de variações, o tipo de padrão que os cosmólogos precisavam encontrar desesperadamente. A região com média de comprimento de onda mais longo indicaria ser ligeiramente mais densa no universo primordial, e poderia, portanto, ter servido de semente para a formação de galáxias. Os cosmólogos não tinham certeza de qual seria o padrão exato da RCFM, mas sabiam que deveria ser razoavelmente complexo para explicar a moderna disposição de galáxias. O mapa (b) mostra uma estrutura simples, com comprimentos de onda mais curtos em um hemisfério e mais longos no outro. Esse tipo de variação foi detectado por Smoot em sua experiência com o U-2. Não tinha nada a ver com a variação complexa que explicaria a formação de galáxias no modelo Big Bang do universo.

Havia uma explicação até certo ponto óbvia para as medições de Smoot. A ampla variação hemisférica era causada, simplesmente, pelo próprio movimento da Terra e o efeito Doppler. À medida que a Terra se move pelo espaço, se o detector estiver apontando para a frente, vai perceber a RCFM chegando com um comprimento de onda ligeiramente mais curto. Se o detector estiver apontando para trás, então o comprimento de onda parecerá ligeiramente mais longo. Ao medir as diferenças entre os comprimentos de onda, Smoot podia realmente medir a velocidade da Terra através do cosmos. Esta velocidade era o efeito combinado da Terra se movendo em torno do Sol, do Sol se movendo dentro da nossa galáxia da Via Láctea, e do próprio movimento da Via Láctea. O resultado foi anunciado na primeira página do *New York Times* em 14 de novembro de 1977: **DESCOBRIU-SE QUE A VELOCIDADE DA GALÁXIA ATRAVÉS DO UNIVERSO EXCEDE 1 MILHÃO DE MILHAS POR HORA.**

Embora fosse um resultado interessante, ele não contribuía em nada para a grande pergunta: onde estavam as variações da RCFM que tinham semeado o universo? Mesmo quando a contribuição do efeito Doppler era removida, ainda não havia sinal de variações do Big Bang. Elas tinham que estar presentes se o modelo do Big Bang era correto, mas ninguém conseguia encontrá-las. O equipamento de Smoot era muito sensível, assim, sua incapacidade de ver o padrão de colcha de retalhos dizia-lhe que as variações tinham que ser menores do que uma parte em mil. Uma variação tão pequena seria difícil de detectar mesmo com um equipamento a bordo de um avião porque ainda restava uma tênue atmosfera acima do detector que poderia obscurecer uma medida muito precisa.

Aos poucos, astrônomos começaram a perceber que sua única esperança de encontrar as variações fugidias (se existiam) era ir bem acima da atmosfera da Terra com um detector RCFM montado a bordo de um satélite espacial. Um equipamento levado por um satélite estaria propriamente isolado das microondas atmosféricas, seria perfeitamente estável, capaz de varrer todo o céu e poderia operar dia após dia.

Mesmo enquanto trabalhava com suas experiências baseadas no avião espião, Smoot já suspeitava de que um satélite seria o único meio de detectar variações na RCFM. Por esse motivo, ele já estava envolvido em planejar

uma experiência mais ambiciosa. Em 1974, a Nasa tinha pedido aos cientistas que apresentassem idéias para sua última série de satélites Explorer, uma série de projetos relativamente baratos destinada a apoiar a comunidade astronômica. Uma equipe de Berkeley, que incluía Smoot, submetera uma proposta para um detector de RCFM a bordo de um satélite, mas ela não estava sozinha. Um grupo do Laboratório de Propulsão a Jato de Pasadena, na Califórnia, tinha apresentado uma proposta semelhante, assim como John Mather, um ambicioso astrofísico de 28 anos de idade que trabalhava na Nasa.

A Nasa, ávida por apoiar uma experiência com tamanho significado cosmológico, unificou as três propostas e financiou um detalhado estudo de viabilidade do que passou a ser chamado de satélite Explorador do Fundo Cósmico, conhecido pela sigla Cobe (pronunciada para rimar com Toby). Os colaboradores começaram a projetar o experimento em 1976, enquanto Smoot ainda estava bem envolvido com suas medições no avião espião U-2, mas ainda era apenas a fase preliminar, assim não era problema para Smoot dividir-se entre os dois projetos. A equipe de cientistas e engenheiros passaria os seis anos seguintes descobrindo como construir um detector que pudesse atingir o objetivo cosmológico de encontrar variações na RCFM, e que também fosse pequeno e forte o bastante para ser lançado ao espaço.

O desenho final incluía três detectores separados, cada um medindo determinado aspecto diferente da radiação RCFM. Mike Hauser, do Centro de Vão Espacial Goddard, onde todo o projeto foi baseado, liderou a equipe responsável pelo Experimento de Fundo Infravermelho Difuso (Dirbe). John Mather foi responsável pelo segundo detector, o Espectrofotômetro Absoluto do Infravermelho Extremo (Firas). George Smoot estava encarregado do terceiro detector, o Radiômetro Diferencial de Microondas (DMR), e fora este o detector projetado especificamente para encontrar variações na RCFM. O detector DMR, como o nome sugere, estava destinado a detectar simultaneamente a radiação vinda de duas direções e medir as diferenças nos dois conjuntos de microondas.

O projeto Cobe finalmente recebeu a luz verde em 1982, oito anos depois de ser proposto. A construção podia começar afinal, e o Cobe estava programado para ser lançado a bordo do ônibus espacial em 1988. Contu-

do, depois de quatro anos de construção do satélite, todo o projeto foi colocado em risco. No dia 28 de janeiro de 1986, o ônibus espacial *Challenger* explodiu logo após a decolagem, matando os sete tripulantes.

“Fiquei atordoado”, lembra Smoot. “Todos nós estávamos. Lamentávamos pelos astronautas. A tragédia do acidente estava acima de tudo, mas lentamente as implicações prováveis para o Cobe começaram a aparecer... Com um ônibus espacial perdido e três presos ao solo, a programação da Nasa fora anulada. Nada estava voando. E não havia como determinar por quanto tempo o lançamento do Cobe seria adiado, talvez por anos”.

Os astrônomos e engenheiros tinham passado uma década projetando e construindo o satélite Cobe, e seu futuro agora parecia sombrio. Todos os vôos do ônibus espacial foram abandonados e o inventário de cargas para a nave cresceu rapidamente. Mesmo que os lançamentos fossem retomados, era claro que haveria outras prioridades que colocariam o Cobe no final da lista. De fato, antes do fim de 1986, a Nasa anunciou oficialmente que o Cobe fora retirado do programa do ônibus espacial.

A equipe do Cobe começou a procurar um veículo lançador substituto, e a única opção séria era um foguete descartável à moda antiga. O melhor lançador disponível era o foguete europeu Ariane, mas a Nasa tinha financiado o Cobe e não estava preparada para ver um rival estrangeiro roubar a glória do lançamento do satélite. Um membro da equipe Cobe lembrou: “Tivemos duas ou três reuniões com os franceses, mas, quando a direção da Nasa descobriu, eles nos ordenaram que parássemos e desistíssemos — e nos ameaçaram com sanções se não o fizéssemos”. Não surpreende que falar com os russos estivesse completamente fora de questão.

O negócio de foguetes estava em declínio, na maior parte, assim havia muito poucas alternativas. Por exemplo, a equipe do Cobe abordou a McDonnell-Douglas, mas a empresa tinha interrompido sua linha de produção do foguete Delta. Havia apenas alguns sobressalentes, que estavam todos marcados para servir de alvos nos testes com as armas da nova Iniciativa de Defesa Estratégica (apelidado de programa Guerra nas Estrelas). Contudo, quando os engenheiros do Delta souberam dos problemas do Cobe eles ficaram encantados com a idéia de que um de seus veículos, de tão belo acabamento, pudesse ser usado para alguma coisa mais construtiva do que

tiro ao alvo. Eles imediatamente ofereceram seus serviços, mas ainda havia um grande problema para ser resolvido.

O satélite Cobe completo pesaria quase cinco toneladas, mas o foguete Delta só podia carregar uma carga com a metade desse peso, assim o Cobe teria que emagrecer consideravelmente. A equipe foi forçada a reprojetar completamente o satélite, reduzindo de modo drástico o seu tamanho e fazendo enormes sacrifícios, que desperdiçaram anos de trabalho prévio. Ao mesmo tempo, a equipe tinha que garantir, de algum modo, que as capacidades científicas do satélite permanecessem intactas — e que ele pudesse ainda sondar a RCFM e testar o modelo do Big Bang. E, o que era pior, todo o novo desenho e a construção tinham que ser completados em três anos, porque haveria uma oportunidade de lançamento em 1989, e perder essa data levaria a atrasos ainda mais severos.

Centenas de cientistas e engenheiros trabalharam nos fins de semana e o dia inteiro para cumprir um dos prazos mais exigentes da história da aventura espacial. Por fim, na manhã de 18 de novembro de 1989, 15 anos depois de a proposta ser originalmente submetida à Nasa, o satélite Cobe estava pronto para o lançamento. Outros tinham continuado a pesquisar as variações na RCFM durante este período, usando detectores no solo e equipamentos carregados por balões e aeronaves, mas a RCFM continuava a parecer perfeitamente regular. Não era tarde demais para o satélite Cobe colocar seu nome na história.

A equipe Cobe se esforçara para garantir que Ralph Alpher e Robert Hermann, que tinham previsto originalmente a RCFM em 1948, não fossem esquecidos. E os convidaram para ir à Base Aérea de Vandenberg, na Califórnia, para testemunhar o lançamento. Os dois teóricos receberam permissão para subir na torre de serviço e colocar a mão no cone do foguete pouco antes da partida. Smoot estava entre as centenas de espectadores reunidos para o lançamento. Todas as suas ambições dependiam do Cobe e do foguete Delta: “Numa visita anterior, eu tinha visto o foguete de perto e ficara horrorizado com sua aparência decrépita, enferrujado aqui e ali, remendado aqui e ali, consertos feitos com Glyptal. O trabalho de nossas vidas estava no topo daquela coisa. Não dissemos uma palavra, apenas rezamos em silêncio”.



Quando a contagem regressiva chegou a zero, o foguete Delta ergueu-se da plataforma. Em trinta segundos quebrou a barreira do som e 11 minutos depois o Cobe entrava em órbita com sucesso. O último estágio propulsor ergueu o satélite até uma altura de novecentos quilômetros, e daí em diante seguiu em uma órbita polar, circunavegando a Terra 14 vezes por dia.

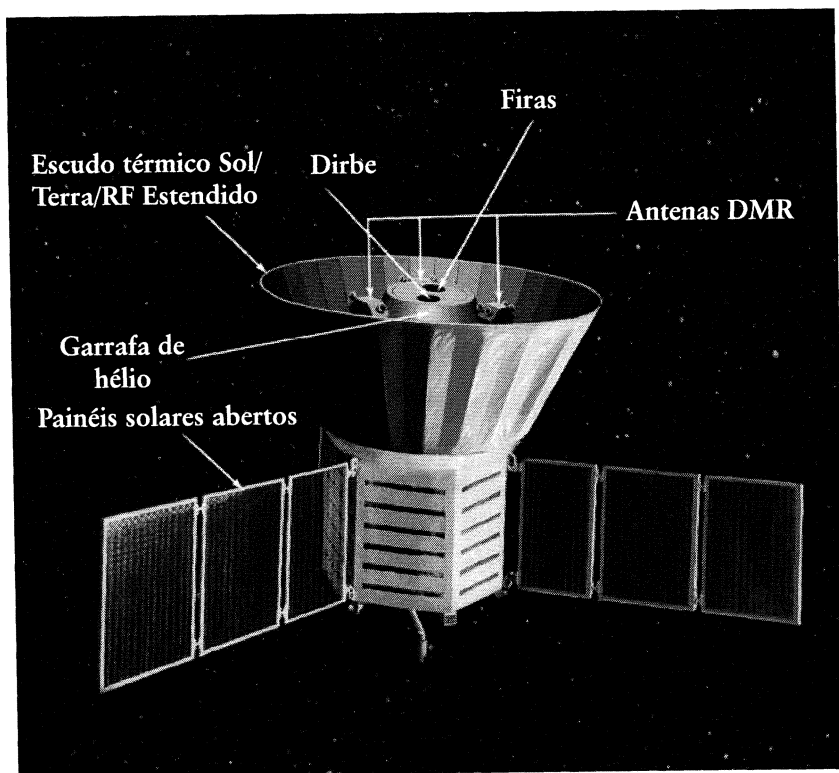
Com o primeiro pacote de dados enviados para a Terra, ficou claro que o Cobe estava funcionando com perfeição e que cada detector tinha sobrevivido à tensão física do lançamento. Contudo, Smoot e seus colegas não podiam fazer nenhum anúncio em relação aos objetivos da missão.

Provar ou desmentir a existência de variações na RCFM exigiria uma análise longa e sutil dos dados do detector DMR, e até mesmo a acumulação dessas medições era um processo longo. O detector podia medir e comparar, simultaneamente, a RCFM de dois pequenos trechos do céu, separados por sessenta graus, mas, de modo a medir a radiação de todo o céu, o satélite teria que orbitar a Terra centenas de vezes. O detector DMR por fim completou sua primeira varredura bruta de todo o céu em abril de 1990.

A primeira análise não revelou nenhum indício de variação na RCFM ao nível de uma parte em 3 mil. Depois de uma segunda varredura, ainda não havia nenhum sinal de variação no nível de uma parte em 10 mil. O escritor científico Marcus Chown descreveu as medições como “uniformidade contínua”.

O Cobe fora enviado ao espaço para encontrar as variações que tinham semeado as galáxias atuais. Talvez elas estivessem apenas se mostrando difíceis de encontrar. Ou talvez de fato não existissem, o que seria desastroso para o modelo do Big Bang porque então não haveria explicação para a criação das galáxias. E sem galáxias não haveria estrelas, nem planetas, nem vida. A situação estava se tornando perturbadora. Como disse John Mather, “ainda não desconsideramos nossa própria existência. Mas estou completamente confuso a respeito de como as estruturas atuais existem sem ter deixado algum tipo de assinatura na radiação de fundo.

Os otimistas esperavam que mais dados e um escrutínio mais severo revelassem as variações na RCFM. Os pessimistas estavam preocupados de que uma inspeção mais detalhada mostrasse que a RCFM era perfeitamente uniforme e que o modelo do Big Bang estava errado. À medida que os meses



**Figura 100** O satélite Cobe foi lançado em 1989. Os três detectores estão parcialmente escondidos pelo escudo do calor e das microondas do Sol e da Terra. A garrafa Dewar no centro do escudo contém hélio líquido, que resfria os componentes do satélite para reduzir a emissão de radiação de microondas pelo próprio satélite.

Até agora dei a impressão de que a RCFM de qualquer direção tem um único comprimento de onda, mas na realidade a RCFM de qualquer direção tem uma faixa de comprimentos de onda. Contudo, a característica dessa distribuição de comprimentos de onda pode ser descrita registrando-se apenas o comprimento de onda dominante ou pico, motivo pelo qual a RCFM foi tratada como se consistisse em um único comprimento de onda.

O destino do modelo do Big Bang dependia das medições feitas pelo detector DMR. Este iria comparar a RCFM chegando de duas direções diferentes e procuraria por diferenças no pico do comprimento de onda. Tais diferenças seriam indicativas das variações de densidade no universo primordial, e as regiões de alta densidade seriam as sementes das atuais galáxias.

O detector Firas e o detector Dirbe foram projetados para analisar outros aspectos da RCFM.

passavam sem nenhuma declaração sobre a existência ou não das variações, começaram a circular rumores pela comunidade cosmológica e a imprensa científica. Teóricos começaram a desenvolver variações conjecturais do modelo do Big Bang que não exigissem necessariamente variações na RCFM. A revista *Sky e Telescope* resumiu o clima quando estampou a manchete BIG BANG: MORTO OU VIVO? E a pequena comunidade do estado estacionário se animou e começou a criticar novamente o modelo do Big Bang.

O que ninguém fora da equipe Cobe percebia era que as variações tão esperadas estavam gradualmente começando a aparecer. Os sinais das variações eram tão incertos que a pesquisa foi mantida em segredo.

O detector DMR do Cobe continuou a reunir mais dados durante os anos de 1990 e 1991, e completou o seu primeiro mapeamento completo de todo o céu em dezembro de 1991, fazendo 70 milhões de medições ao longo do caminho. E, afinal, uma variação tinha aparecido no nível de uma parte em 100 mil. Em outras palavras, o pico do comprimento de onda da RCFM variava em cerca de 0,001% dependendo do local para onde o Cobe estava apontando. A RCFM só mostrava minúsculas variações ao longo do céu, mas existiam. E eram grandes o suficiente para indicar flutuações de densidade no universo primordial para semear o desenvolvimento subsequente das galáxias.

Alguns cientistas do Cobe estavam ansiosos para publicar a descoberta rapidamente, mas outros eram cautelosos, e, no final, foi a cautela que prevaleceu. A equipe resolveu iniciar uma revisão completa para ter certeza de que as variações aparentes não eram um defeito no detector ou uma falha na análise. E, para produzir uma atmosfera de cautela e autocrítica, Smoot ofereceu uma passagem de avião gratuita para qualquer lugar do mundo a quem pudesse encontrar um erro na análise. Ele percebia que estava envolvido na realização de uma das medições mais sensíveis da história da ciência e seria muito fácil para um erro bem camuflado contaminar os resultados. Uma vez ele comparou o desafio de encontrar as minúsculas variações na RCFM a “ouvir um sussurro no meio de uma festa na praia, enquanto os rádios tocam alto, as ondas se quebram, as pessoas gritam, cachorros latem e os *buggies* roncavam nas dunas”. Em tal situação, é fácil ouvir alguma coisa errada ou mesmo imaginar ter ouvido alguma coisa que não esteja lá.

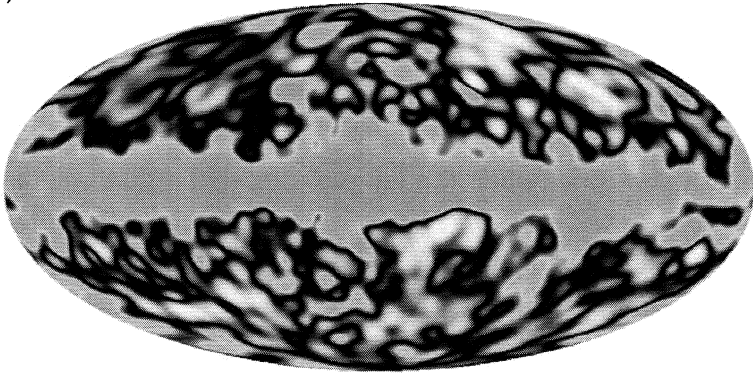
Depois de quase três meses de argumentos e análises posteriores, houve um consenso entre a equipe Cobe de que as variações eram genuínas. Um artigo foi submetido ao *Astrophysical Journal* e ficou decidido que a descoberta seria anunciada durante uma conferência organizada pela American Physical Society em Washington, no dia 23 de abril de 1992.

Smoot, o porta-voz da equipe que tinha construído o detector DMR, teve a honra de se dirigir à platéia e apresentar o resultado verdadeiramente significativo. Passara-se um quarto de século desde que Penzias e Wilson tinham descoberto a RCFM e agora, finalmente, as variações previstas haviam sido identificadas. O resultado ainda era um segredo bem guardado, assim nem mesmo os organizadores da conferência sabiam que Smoot faria um anúncio tão importante. Daí que lhe deram apenas os 12 minutos regulamentares, mas foi o suficiente para apresentar uma das descobertas mais importantes da história da ciência. A platéia assistiu assombrada enquanto a paisagem cósmica admiravelmente se apresentava. O Big Bang podia, de fato, explicar a formação das galáxias.

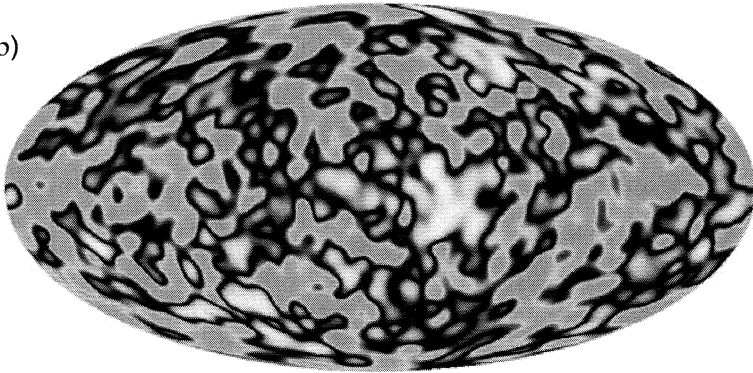
Ao meio-dia houve uma grande coletiva à imprensa. Junto com os *press releases* havia mapas do universo feitos pelo Cobe, cada um deles uma mistura de vermelho, rosa, azul e malva que assumiria um *status* de ícone. Versões em preto-e-branco dos mapas são mostradas na figura 101. Cada mapa em forma de losango representa todo o céu, desembulhado e reformatado para uma página plana, exatamente como o mapa da Terra esférica é distorcido para se encaixar na página de um atlas.

Muitos jornalistas e seus leitores viram essas imagens e presumiram que cada mancha representava uma variação genuína na RCFM, uma das tão faladas diferenças de uma parte em 100 mil. De fato, as medições do Cobe eram severamente afetadas por radiação aleatória emitida pelo próprio detector DMR, assim, o mapa crítico da figura 101(b) contém uma significativa contribuição desse ruído aleatório. Tal contaminação é tão severa que somente com o olhar é impossível dizer que manchas são variações genuínas da RCFM e quais foram causadas por flutuações casuais no detector. Contudo, os cientistas do Cobe tinham usado sofisticadas técnicas estatísticas para provar que havia variações genuínas na RCFM, no nível que declaravam,

(a)



(b)



**Figura 101** À medida que o Cobe investigava o espaço, via a RCFM chegando de todas as direções. As variações na radiação foram mapeadas sobre a superfície de uma esfera, como se o Cobe estivesse posicionado no centro da esfera e olhando para fora. O Cobe criou vários mapas esféricos e dois deles foram desdobrados e são mostrados aqui como mapas bidimensionais. Os mapas eram originalmente em cores codificadas, mas são mostrados aqui em preto, branco e cinza. O sombreado reflete as variações na intensidade da radiação CMB como medido pelo detector DMR do Cobe.

O mapa (a) é dominado pela radiação das estrelas em nossa própria Via Láctea, que parece se estender ao longo do equador. Esta imagem foi apelidada de “o hambúrguer”.

O mapa (b) teve a contribuição da Via Láctea removida. É uma indicação melhor das variações da RCFM através do universo. A maior parte do mapa ainda é dominada pelo ruído aleatório, mas uma análise estatística mostra variações genuínas na RCFM ao nível de uma parte em 100 mil.

assim seu resultado era válido ainda que o mapa pudesse ser enganoso. Teria sido mais preciso dar aos jornalistas uma análise estatística dos dados em vez de imagens, mas nenhum jornalista as teria entendido. Em todo caso, os editores ficaram gratos por terem uma imagem interessante para colocar junto com os artigos que apareceriam no dia seguinte.

A análise estatística pode ter sido complicada, mas a mensagem de George Smoot para o resto do mundo era simples. O satélite Cobe tinha encontrado evidências de que, aproximadamente 300 mil anos depois do momento da criação, havia minúsculas variações de densidade ao longo do universo, no nível de uma parte em 100 mil, que cresceram com o tempo e afinal resultaram nas galáxias que vemos hoje em dia. Tendo passado a noite anterior pensando em frases animadas para dizer na entrevista coletiva, Smoot disse aos jornalistas reunidos: “Observamos as maiores e mais antigas estruturas já vistas no universo primordial. Estas foram as sementes primordiais das estruturas modernas, tais como galáxias e aglomerados de galáxias, e assim por diante”. Smoot também deu aos jornalistas uma citação mais memorável e espirituosa: “Bem, se você for religioso, é como ver a face de Deus”.

A imprensa respondeu dedicando páginas inteiras ao resultado do Cobe. A revista *Newsweek* marcou a espetacular cobertura com a manchete A ESCRITA DE DEUS. Embora um pouco embaraçado com o fervor que essas palavras inspiravam, Smoot, não obstante, disse que não se arrependia: “Se meu comentário fez as pessoas se interessarem pela cosmologia, então isso é bom, isso é positivo. De qualquer forma, está feito. Não tem volta”.

A menção a Deus, as imagens atraentes e a pura importância científica da descoberta do Cobe garantiram que essa fosse a mais importante matéria astronômica da década. E mais lenha foi jogada na fogueira quando Stephen Hawking disse: “É a maior descoberta do século, se não de toda a história”.

Finalmente, o desafio de provar o Big Bang tinha terminado. Gerações de físicos, astrônomos ou cosmólogos — Einstein, Friedmann, Lemaître, Hubble, Gamow, Alpher, Baade, Penzias, Wilson e toda a equipe do Cobe,

junto com muitos outros — conseguiram lidar com a questão fundamental da criação. Estava claro que o universo era dinâmico, se expandia e evoluía, e que tudo que vemos hoje em dia emergira de um Big Bang compacto, denso e quente há mais de 10 bilhões de anos. Acontecera uma revolução na cosmologia, e o modelo do Big Bang agora era aceito. A mudança de paradigma estava completa.

## CAPÍTULO 5 - MUDANÇA DE PARADIGMA

### RESUMO

1950 A COMUNIDADE COSMOLÓGICA ESTAVA DIVIDIDA ENTRE O MODELO DO



ESTADO ESTACIONÁRIO E O MODELO DO BIG BANG. PERGUNTAS TINHAM QUE SER RESPONDIDAS E CONFLITOS TINHAM QUE SER RESOLVIDOS ANTES QUE UM MODELO PUDESSE SER CONSIDERADO A VERDADEIRA DESCRIÇÃO DO UNIVERSO.

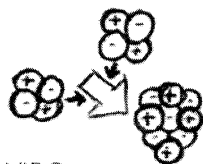


POR EXEMPLO: SE HOVE UM BIG BANG, ENTÃO:

- ♦ POR QUE O UNIVERSO ERA MAIS JOVEM DO QUE AS ESTRELAS?
- ♦ COMO SE FORMARAM OS ELEMENTOS PESADOS?
- ♦ ONDE ESTAVA A MATÉRIA?
- ♦ E COMO AS GALÁXIAS SE FORMARAM?

2 PRIMEIRO HUBBLE E DEPOIS SANDAGE RECALIBRARAM A ESCALA DE DISTÂNCIAS DAS GALÁXIAS E MOSTRARAM QUE O BIG BANG REALMENTE PREVIA UM UNIVERSO MUITO MAIS VELHO, COMPATÍVEL COM AS IDADES DAS ESTRELAS E GALÁXIAS DENTRO DELE.

3 HOYLE PARTIU PARA EXPLICAR A FORMAÇÃO DOS ELEMENTOS PESADOS E MOSTROU COMO ELES SE FORMAVAM ATRAVÉS DA FUSÃO NO INTERIOR DAS ESTRELAS ENVELHECIDAS.



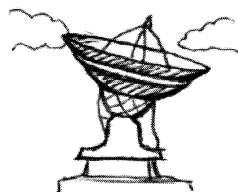
O PROBLEMA DA NUCLEOSSÍNTESE HAVIA SIDO RESOLVIDO:

- ♦ ELEMENTOS PESADOS FORMARAM-SE EM ESTRELAS MORIBUNDAS;
- ♦ ELEMENTOS LEVES FORMARAM-SE LOGO DEPOIS DO BIG BANG.

4 NA DÉCADA DE 1960, ASTRÔNOMOS USARAM A RADIOASTRONOMIA E DESCOBRIRAM NOVAS GALÁXIAS (GALÁXIAS JOVENS E QUASARES) QUE TENDIAM A EXISTIR NAS REGIÕES MAIS REMOTAS DO UNIVERSO.



A DISTRIBUIÇÃO DESIGUAL DE GALÁXIAS IA CONTRA O MODELO DO ESTADO ESTACIONÁRIO, QUE AFIRMAVA QUE O UNIVERSO ERA APROXIMADAMENTE IGUAL EM TODA PARTE.



E, NO ENTANTO, ESTA OBSERVAÇÃO ERA TOTALMENTE COMPATÍVEL COM O MODELO DO BIG BANG.



5 EM MEADOS DOS ANOS 1960, PENZIAS E WILSON DESCOBRIRAM ACIDENTALMENTE A RCFM PREVISTA POR ALPHER, GAMOW E HERMAN EM 1948, FORNECENDO UMA EVIDÊNCIA INCISIVA EM FAVOR DO BIG BANG.



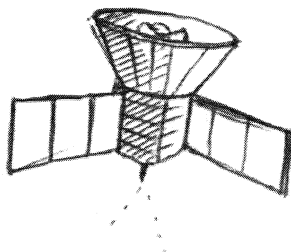
ESSA PEÇA DE SERENDIPIDADE GANHOU O PRÊMIO NOBEL EM 1978.



QUASE TODOS OS COSMÓLOGOS SE TRANSFERIRAM PARA O CAMPO DO BIG BANG

6 1992

O SATÉLITE COBE  
DESCOBRIU MINÚSCULAS VARIAÇÕES NA  
RCFM VINDA DE PARTES DIFERENTES DO  
CÉU, QUE INDICAVAM VARIAÇÕES DE  
DENSIDADE NO UNIVERSO PRIMORDIAL,  
QUE TERIAM INICIADO A FORMAÇÃO  
DAS GALÁXIAS.



A MUDANÇA DE PARADIGMA DE UM UNIVERSO ETERNO PARA UM UNIVERSO DO BIG BANG ESTAVA COMPLETA.



O MODELO DO BIG BANG TINHA PROVADO SER VERDADEIRO!



FIM?

---

## EPÍLOGO

---

*Se você quiser fazer uma torta de maçã a partir dos elementos, primeiro terá que criar o universo.*

CARL SAGAN

*O que continua a me surpreender é o fato de os seres humanos terem tido a audácia de conceber uma teoria da criação e agora serem capazes de testar essa teoria.*

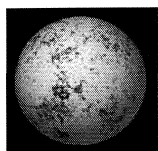
GEORGE SMOOT

*Nós afirmamos que o modelo do Big Bang é a mais convincente e inclusiva teoria física do cosmos, no momento presente, porque o modelo tem capacidade de fazer previsões (ou seja, abrange, ao mesmo tempo, muitas observações astronômicas diversas) e, em particular, porque, como qualquer teoria viável, continua a sobreviver aos desafios da falsificação observacional... No caso do Big Bang, não somente o modelo sobreviveu a um certo número de décadas, mas tornou-se progressivamente mais forte.*

RALPH ALPHER E ROBERT HERMAN

*Há 10 ou 20 bilhões de anos alguma coisa aconteceu — o Big Bang, o evento que deu início ao nosso universo. Por que ele aconteceu é o maior mistério que se conhece. Mas o fato de ter acontecido é razoavelmente claro.*

CARL SAGAN



O modelo de universo do Big Bang é, provavelmente, a realização científica mais importante e gloriosa do século XX. Contudo, o modelo também pode ser considerado muito comum no modo como foi concebido, desenvolvido, explorado, testado, provado e afinal aceito. Nesses aspectos ele tem muito em comum com idéias em áreas menos atraentes da ciência. O desenvolvimento do modelo do Big Bang é um exemplo básico do método científico em ação.

Como muitas outras áreas da ciência, a cosmologia começou com uma tentativa de explicar coisas que, antes, pertenciam ao domínio do mito e da religião. Os primeiros modelos cosmológicos eram úteis, mas não perfeitos, e logo começaram a surgir as incoerências e imprecisões. Uma nova geração de cosmólogos ofereceu um modelo alternativo e lutou a favor de sua visão de universo, enquanto o estabelecimento científico defendia o modelo existente. Ambos, o estabelecimento e a facção rebelde, defenderam seus pontos de vista, recorrendo à teoria, à experimentação e à observação, às vezes trabalhando durante décadas antes de fazer um avanço, ocasionalmente mudando o panorama científico da noite para o dia com uma descoberta serendípica. E ambos os lados fizeram uso das mais modernas tecnologias — de tudo, das lentes aos satélites — num esforço para encontrar a peça crucial de evidência que provaria o seu modelo. Por fim, a defesa do novo modelo tornou-se irresistível, e a cosmologia passou por uma revolução, à medida que o estabelecimento abandonava o antigo modelo a favor do novo. A maioria dos antigos críticos do novo modelo ficou convencida e mudou de opinião, completando a mudança de paradigma.

E, o que é importante, na maioria das batalhas científicas não há mudança de paradigma. Em geral, um novo modelo científico é proposto, mas logo

se descobre que tem falhas e o modelo aceito permanece no lugar como a melhor explicação da realidade. E é tranquilizador que isso aconteça, do contrário a ciência estaria constantemente revisando suas posições e seria uma estrutura pouco confiável para a exploração e a compreensão do universo. Contudo, quando acontece uma mudança de paradigma, trata-se de um dos momentos mais extraordinários da história da ciência.

O caminho de um velho para um novo paradigma pode levar várias décadas e exigir a contribuição de dúzias de cientistas. Isso dá origem a uma pergunta interessante: quem merece o crédito pelo novo paradigma? Tal questão foi bem explorada na peça teatral *Oxigênio*, de Roald Hoffman e Carl Djerassi. A peça gira em torno de um prêmio fictício, o retro-Nobel, dado em reconhecimento a uma descoberta feita antes da fundação da Academia Nobel. O comitê se reúne e logo concorda que um prêmio deve ser dado pela descoberta do oxigênio. Infelizmente, os membros não chegam a um acordo sobre quem merece o crédito pela descoberta. Teria sido o farmacêutico sueco Carl Wilhelm Scheele, por ter sido ele o primeiro a sintetizar e isolar o gás? Ou foi o ministro unitarista inglês Joseph Priestley, porque foi o primeiro a publicar a descoberta e fornecer detalhes de sua pesquisa? Ou teria sido o químico francês Antoine Lavoisier, porque ele entendeu, com acerto, que o oxigênio não era uma mera variação do ar (“ar deflogisticado”), mas um elemento inteiramente novo? A peça discute a questão da prioridade, viajando de volta no tempo para permitir que cada homem defenda o seu caso, o que só serve para revelar as complexidades de se dar crédito a alguém.

Se a questão de quem merece o crédito pela descoberta do oxigênio é difícil de responder, então a pergunta sobre quem inventou o modelo do Big Bang é quase impossível. Desenvolvimento, teste, revisão e prova do modelo do Big Bang exigiram um número de estágios teóricos, experimentais e observacionais, e cada um teve os seus próprios heróis. Einstein merece algum crédito por explicar a gravidade através de sua teoria da relatividade geral, sem a qual nenhum modelo cosmológico sério teria sido desenvolvido. Contudo, no princípio ele lutou contra a idéia de um universo em evolução, assim ficou para Lemaître e Friedmann desenvolverem a teoria do Big Bang. O trabalho deles não teria sido levado a sério se não fossem as obser-

vações de Hubble, que demonstrou que o universo estava se expandindo. Mas a pretensão de Hubble à coroa do Big Bang é prejudicada pelo fato de ter sido relutante em tirar qualquer conclusão cosmológica de sua pesquisa. O modelo do Big Bang teria permanecido desacreditado não fossem as contribuições teóricas de Gamow, Alpher e Herman e o trabalho observacional de Ryle, Penzias, Wilson e da equipe do Cobe. Até mesmo Fred Hoyle, o protagonista do estado estacionário, fez contribuições teóricas para a nucleossíntese, e, sem querer, ajudou a impulsionar o Big Bang. Claramente, o modelo do Big Bang não pode ser atribuído a um único indivíduo.

Na realidade, este livro menciona apenas uma pequena fração daqueles que contribuíram para o modelo do Big Bang, porque seria impossível fazer um relato completo e definitivo do debate Big Bang *versus* estado estacionário em apenas algumas centenas de páginas. Cada subseção de cada capítulo deste livro teria que ser ampliada para fazer justiça a todos os que contribuíram para o desenvolvimento do modelo do Big Bang.

Além das limitações de espaço, esta história também é limitada pelo esforço de minimizar o número de equações matemáticas. A matemática é a linguagem da ciência, e, em muitos casos, uma explicação completa e precisa de um conceito científico só é possível apresentando-se uma detalhada exposição matemática. Entretanto, geralmente é possível dar uma descrição geral de um conceito científico usando-se apenas palavras e algumas figuras para ilustrar pontos-chave. De fato, o matemático Carl Friedrich Gauss uma vez enfatizou o valor de “noções, não notações”.

A evidência de que a teoria do Big Bang pode ser explicada em palavras e figuras foi publicada na sexta-feira, 24 de abril de 1992. Este foi o dia seguinte à coletiva do Cobe, quando a primeira página do jornal *Independent* resumiu todos os elementos essenciais do modelo Big Bang do universo num único e simples diagrama, mostrado aqui na figura 102. Alguns dos valores de tempo e temperatura no diagrama diferem dos que foram citados em capítulos anteriores, devido aos aperfeiçoamentos na teoria e na observação até 1992. Os números ainda são apenas aproximados, mas, em grande parte, continuam a representar o consenso entre os cosmólogos de hoje em dia.

O diagrama do *Independent* resume muito bem nossa compreensão atual do universo do Big Bang. Primeiro, como ele indica, “toda a matéria e ener-

gia estavam condensados em um ponto” e então houve o poderoso Big Bang. O termo “Big Bang” implica algum tipo de explosão, o que não é uma analogia totalmente inadequada, só que o Big Bang não foi uma explosão *no* espaço e sim *do* espaço. De modo semelhante, o Big Bang não foi uma explosão *no* tempo e sim *do* tempo. Ambos, o espaço e o tempo, foram criados no momento do Big Bang.

Em um segundo, o universo superquente se expandiu e esfriou drasticamente, sua temperatura caindo de alguns trilhões para alguns bilhões de graus. O universo continha, principalmente, prótons, nêutrons e elétrons, tudo banhado num mar de luz. Os prótons, equivalentes a núcleos de hidrogênio, reagiram com outras partículas nos próximos minutos para formar núcleos leves, como o hélio. A proporção de hidrogênio para hélio no universo foi em grande parte determinada nesses primeiros poucos minutos, e é compatível com o que vemos hoje em dia.

O universo continuou a se expandir e a esfriar. Agora consistia em núcleos simples, elétrons energéticos e grande quantidade de luz, com tudo se espalhando sobre tudo o mais. Depois de aproximadamente 300 mil anos, a temperatura do universo tinha se reduzido o bastante para permitir que os elétrons reduzissem sua velocidade, prendendo-se aos núcleos para formar átomos completos. Isso, de fato, evitou qualquer espalhamento posterior da luz, que desde então tem percorrido o universo praticamente desimpedida. Esta luz ficou conhecida como radiação cósmica de fundo em microondas cósmicas (RCFM), uma espécie de eco luminoso do Big Bang, que foi previsto por Gamow, Alpher e Herman e detectado por Penzias e Wilson.

Graças às medições detalhadas do satélite Cobe, sabemos que o universo continha regiões de densidade ligeiramente maior do que a média quando tinha 300 mil anos. Essas regiões aos poucos atraíram mais matéria e ficaram mais densas, de modo que as primeiras estrelas e galáxias se formaram quando o universo tinha aproximadamente 1 bilhão de anos. As reações nucleares, iniciadas dentro das estrelas, passaram a formar os elementos de peso médio, enquanto os elementos mais pesados seriam criados nas condições intensas da violenta agonia de estrelas que morriam. É graças à formação estelar de elementos como o carbono, o oxigênio, o nitrogênio, o fósforo e o potássio que finalmente foi possível a evolução da vida.

E aqui estamos hoje, 15 bilhões de anos depois (tirando ou acrescentando um par de bilhão de anos). A seção superior do jornal, que contém os seres humanos, é um pouco lisonjeira, já que exagera o papel que desempenhamos na história do universo. Embora a vida tenha existido na Terra durante alguns bilhões de anos, o homem existe apenas há mais ou menos 100 mil anos. Para contextualizar, se a história do universo for representada como uma linha de tempo esticada entre as mãos na extremidade de dois braços estendidos, então uma lixa de unhas poderia apagar toda a existência humana com um único aparar das unhas.

É importante lembrar que essa história da criação e evolução é apoiada com evidências concretas. Físicos como Gamow, Alpher e Herman fizeram cálculos detalhados, estimaram as condições no universo primordial e realizaram previsões sobre como esse universo primitivo deixaria sua marca no universo atual, em termos da proporção entre hidrogênio e hélio e RCFM. E essas previsões se revelaram assombrosamente precisas. Como lembrou o Prêmio Nobel de física Steven Weinberg, o modelo do Big Bang é mais do que uma especulação ociosa:

Nosso erro não é ter levado nossas teorias muito a sério, mas não as ter levado a sério o bastante. É difícil perceber que esses números e equações que manipulamos em nossas mesas têm alguma coisa a ver com o mundo real. E, o que é pior, freqüentemente parece existir um consenso de que certos fenômenos não são objetos adequados para um esforço teórico e experimental sério. Gamow, Alpher e Herman merecem um tremendo crédito, acima de tudo, por aceitarem levar a sério o universo primordial, descobrindo o que as leis físicas conhecidas tinham a dizer sobre os primeiros três minutos.

E quando um jornal está preparado para colocar uma ampla exposição de um modelo cosmológico na sua primeira página, isso é uma forte indicação, como diria Arthur Eddington, de que o modelo do Big Bang passou das oficinas teóricas para o *showroom* científico. E, no entanto, isso não significa que o modelo esteja aperfeiçoado e completo, porque sempre restarão alguns detalhes e questões a serem resolvidas. O resto deste epílogo é um

Figura 102 Na Grã-Bretanha, a descoberta feita pelo Cobe dominou a primeira página do jornal *The Independent* na sexta-feira, 24 de abril de 1992. O jornal anunciou as variações na RCFM como a comprovação final para o modelo Big Bang do universo, que é explicado com a ajuda deste claro diagrama.



## BACK TO CREATION

How the universe evolved from the Big Bang, through the first three minutes, to the first clusters of matter 300,000 years on. By 15 billion years humanity had emerged from the dust of the stars.

15 billion years  
DNA, the molecule  
of inheritance, and  
life on Earth emerge

1 billion years

300,000 years  
Epoch of recombination: the first ripples of cosmic structure  
**Discovery announced yesterday**

FOURTEEN thousand million years ago the universe hiccuped. Yesterday, American scientists announced that they have heard the echo.

A Nasa spacecraft has detected ripples at the edge of the Cosmos which are the fossilised imprint of the birth of the stars and galaxies around us today.

According to Michael Rowan-Robinson, a leading British cosmologist, "What we are seeing here is the moment when the structures we are part of — the stars and galaxies of the universe — first began to form."

The ripples were spotted by the Cosmic Background Explorer (Cobe) satellite and presented to excited astronomers at a meeting of the American Physical Society in Washington yesterday.

"Oh wow... you can have no idea how exciting this is," Carlos Frenk, an astronomer at Durham University, said yesterday. "All the world's cosmologists are on the telephone to each other at the moment trying to work out what these numbers mean."

Cobe has provided the answer to a question that has baffled scientists for the past three decades in their attempts to understand the structure of the Cosmos. In the 1960s two American researchers found definitive evidence that a Big Bang had started the whole thing off about 15 billion years ago. But the Big Bang would have spread matter like thin gruel evenly throughout the universe. The problem was to work out how

the lumps (stars, planets and galaxies) got into the porridge.

"What we have found is evidence for the birth of the universe," said Dr George Smoot, an astrophysicist at the University of California, Berkeley, and the leader of the Cobe team.

Dr Smoot and colleagues at Berkeley joined researchers from several American research organisations to form the Cobe team. These included the Goddard Space Flight Center, Nasa's Jet Propulsion Laboratory, the Massachusetts Institute of Technology and Princeton University. Joel Primack, a physicist at the University of California at Santa Cruz, said that if the research is confirmed, "it's one of the major discoveries of the century. In fact, it's one of the major discoveries of science."

Michael Turner, a University of Chicago physicist, called the discovery "unbelievably important... The significance of this cannot be overstated. They have found the Holy Grail of cosmology... if it is indeed correct, this certainly would have to be considered for a Nobel Prize."

Since the ripples were created almost 15 billion years ago, their radiation has been travelling toward Earth at the speed of light. By detecting the radiation, Cobe is "a wonderful time machine"

3 minutes

1 second  
Stable subnuclear particles,  
neutrons and protons,  
are formed

10<sup>-10</sup> s

able to view the young universe, Dr Smoot said.

A remnant glow from the Big Bang is still around today, in the form of microwave radiation that has bathed the universe for the billions of years since the explosion. Galaxies must have formed by growing gravitational forces bringing matter together. To produce a "lumpy" universe, radiation from the Big Bang should itself show signs of being lumpy.

Cobe, which has been orbiting 500 miles above the Earth since the end of 1989, has instruments on board that are sensitive to extremely old radiation. The ripples Cobe has found are the hard evidence of the long-wavelength lumps in the radiation.

Cobe detected almost imperceptible variations in the



# How the universe began

**TION**  
ved  
ough  
to the  
100,000  
years  
from

	Radiation	Proton Neutron Meson
	Particles	
$W^+$	Heavy particles	Deuteron
$W^-$		Helium
$Z$		Lithium
$q$	Quark	
$\bar{q}$	Anti-quark	
$e$	Electron	Gamma
$\bar{e}$	Positron	Calorimeter

CO-OP: 10-11-12, 10-11-13

-270 degrees

1 billion years

300,000 years

the first ripples of cosmic structure

3 minutes

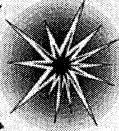
1 second

Stable subnuclear particles, neutrons and protons, are formed

10<sup>-10</sup> sec

seconds

THE BIG BANG



able to view the young universe, Dr Smoot said. "A remnant glow from the Big Bang is still around today, in the form of microwave radiation that has bathed billions of years since the explosion. Galaxies must have formed by growing gravitational forces bringing matter together. To produce a 'lumpy' universe, radiation from the Big Bang should itself show signs of being lumpy.

Cobe, which has been orbiting 300 miles above the Earth since the end of 1989, has instruments on board that are sensitive to fluctuations below zero. Those ripples Cobe has found are the first hard evidence of the long-sought lumpiness in the radiation. Scientists detected almost imperceptible variations in the temperature when the foggy clouds

All matter and energy were condensed to a point

matter, the scientists said yesterday. The smallest ripples the satellite picked up stretch across 500 million light years of space.

Cobe has taken a snapshot of the universe just 300,000 years after the Big Bang itself — at a point in time when the foggy fireball of re-

radiation and matter produced by the explosion cooled down. "The results also show that the idea of a Big Bang model is once again gradually becoming more firmly established," Professor Robinson of London University said.

He described the ripples as similar to the chaotic pattern of waves you might see from an aeroplane window flying over an ocean. "I can be pretty confident now that if we had an even bigger telescope in space we could see the fluctuations that are the early stages of individual galaxies themselves. It's just a matter of technology now," he added.

The point in time of Cobe's snapshot is known as 'the epoch of recombination.' At this point, the early galaxies began to form and light from these galaxies, re-

lution and matter produced by the explosion cooled down. "The results also show that the idea of a Big Bang model is once again gradually becoming more firmly established," Professor Robinson of London University said.

He described the ripples as similar to the chaotic pattern of waves you might see from an aeroplane window flying over an ocean. "I can be pretty confident now that if we had an even bigger telescope in space we could see the fluctuations that are the early stages of individual galaxies themselves. It's just a matter of technology now," he added.

The point in time of Cobe's snapshot is known as 'the epoch of recombination.' At this point, the early galaxies began to form and light from these galaxies, re-

lution and matter produced by the explosion cooled down. "The results also show that the idea of a Big Bang model is once again gradually becoming more firmly established," Professor Robinson of London University said.

He described the ripples as similar to the chaotic pattern of waves you might see from an aeroplane window flying over an ocean. "I can be pretty confident now that if we had an even bigger telescope in space we could see the fluctuations that are the early stages of individual galaxies themselves. It's just a matter of technology now," he added.

The point in time of Cobe's snapshot is known as 'the epoch of recombination.' At this point, the early galaxies began to form and light from these galaxies, re-

lution and matter produced by the explosion cooled down. "The results also show that the idea of a Big Bang model is once again gradually becoming more firmly established," Professor Robinson of London University said.

He described the ripples as similar to the chaotic pattern of waves you might see from an aeroplane window flying over an ocean. "I can be pretty confident now that if we had an even bigger telescope in space we could see the fluctuations that are the early stages of individual galaxies themselves. It's just a matter of technology now," he added.

The point in time of Cobe's snapshot is known as 'the epoch of recombination.' At this point, the early galaxies began to form and light from these galaxies, re-

-255 degrees

Heavy chemical elements produced in gravitational collapse of stars

6,000 degrees

leaked from the foggy soup of radiation, was set free to be picked up by modern astronomers with their telescopes.

Further analysis of Cobe's results will shed light on the identity of the particles that make up the matter that we know contributes most of the mass of the universe," Dr Carlos Frank of Durham University, said yesterday. This mystery dark matter is scientists' best guess at explaining why the universe is lumpy.

Astronomers have worked out that, for there ought to be far more matter around than they have observed. One of the leading theories to get round this is the Dark Matter theory, which says that 90 per cent of the matter of the universe is invisible to us. This theory predicts fluctuations in the background radiation of exactly the size Cobe has observed. "Because these had not been seen, the theoreticians were beginning to get worried that they had got it wrong," Professor Rowan-Robinson said.

If Cobe had found no ripples the theoreticians would have been in dismay; their best shot at understanding how galaxies were formed would have been disproved," he added. "The cold dark matter theory is a very beautiful one which makes very good predictions about what the size of

these fluctuations should be. How big they are depends on how fast they are able to grow. These results are just the size that the theory predicts. People have been looking for this kind of variation since the 1950s.

However, Arnold Wolfendale, of the Royal Society, said it was a note of caution. He said the scientific community must examine the results before shouting too loudly about their importance.

"There is no doubt that, if verified, this is a very important result. Detecting these small fluctuations is very difficult. Another group reported having picked up similar fluctuations last year, then later found they were due to cosmic rays. At the frequencies our colleagues in the US are working on, cosmic rays should not be a problem, but there is doubt because the means which can also produce similar fluctuations are not understood."

Martin Rees, Professor of Astrophysics at Cambridge University, said: "We needed equipment sensitive enough to pick up these fluctuations. We can expect in the next year or so there will be other observations from the ground corroborating this."

He said the results opened up a whole new area of astronomy. "Now we have seen them we can start analysing them. We can learn a lot about the history of the universe — what happened when. We might find, for example, that there was a second foggy era after the original fog lifted."

10<sup>9</sup> degrees  
Formation of helium and lithium nuclei

10<sup>10</sup> degrees

10<sup>15</sup> degrees  
More matter than antimatter in Cosmos

10<sup>27</sup> degrees

10<sup>32</sup> degrees  
All forces unified and violent increase in expansion (cosmic inflation)

breve mergulho em alguns desses detalhes e questões não resolvidas. Alguns parágrafos não podem esperar transmitir toda a sutileza, profundidade e verdadeiro significado desses problemas, mas o que se segue deve demonstrar que, ainda que o amplo conceito da Big Bang tenha se demonstrado correto, vai levar muito tempo para que as filas de desempregados fiquem cheias de cosmólogos suplentes.

Sabemos, por exemplo, que as galáxias atuais foram semeadas por variações na densidade do universo que existiram 300 mil anos depois do Big Bang, mas o que foi responsável por essas variações? De acordo com a teoria da relatividade geral de Einstein, o espaço pode ser plano, curvado para dentro ou curvado para fora. Num universo plano, um raio de luz pode viajar em uma linha reta para sempre, exatamente como uma bola rolando em uma superfície polida e sem atrito. Mas, se o universo for curvo, o raio de luz seguirá uma trajetória circular e retornará ao ponto de partida, exatamente como uma aeronave voando ao longo da linha do equador da Terra curva. Nosso universo parece ser plano, de acordo com as observações astronômicas, assim, a pergunta é: por que nosso universo é plano quando deveria ser curvo?

Uma possível explicação para a origem e a aparente planificação do universo é fornecida pela teoria da *inflação*, que foi desenvolvida no final de 1979 por Alan Guth. Quando primeiro concebeu a inflação cósmica, Guth ficou tão assombrado que escreveu “REALIZAÇÃO ESPETACULAR” em seu livro de notas. Isso não é um exagero, já que a inflação parece um acréscimo valioso ao modelo do Big Bang. Existem várias versões da inflação, mas, em essência, a teoria propõe uma breve e enorme fase de expansão, nos momentos iniciais do universo, talvez terminando depois de apenas  $10^{-35}$  segundos. Durante essa era inflacionária, o universo dobrou de tamanho a cada  $10^{-37}$  segundos, o que significa, aproximadamente, uma centena de duplicações. Isso pode não parecer muito, mas uma famosa fábula mostra o poder da duplicação.

A fábula conta como um vizir da Pérsia uma vez perguntou ao seu sultão se podia ser pago com grãos de arroz, de modo que houvesse um grão no primeiro quadrado de um tabuleiro de xadrez, dois no segundo quadrado, depois quatro, oito, 16 e assim por diante. O sultão concordou, pensando



A teoria da inflação de Guth ainda está na oficina, mas muitos cosmólogos acham que, no devido tempo, ela será incorporada ao modelo do Big Bang. Jim Peebles disse uma vez: “Se a inflação está errada, então Deus desperdiçou um bom truque! A inflação é uma linda idéia. Contudo, existem muitas idéias lindas que a natureza decidiu não usar, assim não devemos nos queixar muito se estiver errada”.

Outra questão que mantém os cosmólogos acordados durante a noite é a *matéria escura*. Observações mostram que as estrelas que orbitam a periferia das galáxias têm velocidades tremendas, e no entanto a atração gravitacional de todas as estrelas mais próximas do coração da galáxia não é suficiente para impedir que tais estrelas periféricas se percam no cosmos. Portanto, os cosmólogos acreditam que devem existir vastas quantidades de matéria escura em uma galáxia, ou seja, matéria que não brilha, mas que exerce uma atração gravitacional suficiente para manter as estrelas em suas órbitas. Embora a idéia da matéria escura venha da época de Fritz Zwicky em Monte Wilson, nos anos 1930, os cosmólogos ainda não estão certos de sua verdadeira natureza, o que é um tanto vergonhoso, já que os cálculos implicam que o universo tem mais matéria escura do que matéria estelar normal.

Alguns candidatos a matéria escura são os chamados *massive compact halo objects* (*objetos maciços e compactos do halo*) cuja sigla em inglês é Machos. Essa categoria incluiria buracos negros, asteróides e planetas gigantes do tipo de Júpiter. Nós não veríamos esses objetos na galáxia porque eles não brilham, mas todos contribuiriam para a atração gravitacional. Outro candidato para a matéria escura tem a sigla Wimps, ou *weakly interactive massive particles* (*partículas maciças fracamente interativas*), que inclui vários tipos de partículas que não formam objetos como os Machos mas podem permear todo o universo, quase não fazendo sentir sua presença, a não ser através da força da gravidade.

E, no entanto, existem apenas vagos indícios sobre a natureza e a quantidade de matéria escura no universo, o que é um tanto frustrante porque os cosmólogos precisam de uma compreensão respeitável da matéria escura antes que possam preencher algumas lacunas no modelo do Big Bang. Por exemplo, a influência gravitacional da matéria escura teria desempenhado

um grande papel em atrair mais matéria comum nos estágios iniciais do universo, ajudando portanto a formar as galáxias.

E, no outro lado da linha de tempo, a matéria escura pode desempenhar um papel decisivo no destino final do universo. O universo está em expansão desde o Big Bang, mas toda a sua massa deveria estar puxando a matéria de volta e, gradualmente, retardando a expansão. Isso leva a três futuros possíveis, que foram primeiramente propostos por Aleksandr Friedmann nos anos 1920. Em primeiro lugar, o universo pode se expandir para sempre, mas a uma taxa sempre decrescente. Em segundo lugar, o universo pode reduzir a expansão até um ponto em que ela pare. E, em terceiro lugar, o universo pode diminuir a expansão, pará-la e então começar a se contrair em direção ao que agora é conhecido como Big Crunch (Grande Implosão). Assim, o futuro do universo depende da força gravitacional dentro dele, o que depende da massa do universo, o que, por sua vez, depende da quantidade de matéria escura no universo.

De fato, um quarto futuro em potencial agora está sendo considerado seriamente. No final da década de 1990, os astrônomos focalizaram seus telescópios em uma variedade especial de supernova conhecida como tipo Ia. Essas supernovas são muito brilhantes e podem ser vistas mesmo se explodirem em galáxias remotas. As supernovas de tipo Ia também têm a vantagem de apresentar uma variação de brilho indicativa que pode ser usada para determinar sua distância, e assim a distância da galáxia que as contém. E, usando-se a espectroscopia, é possível medir sua velocidade de recessão. À medida que os astrônomos estudavam mais e mais supernovas do tipo Ia, as medições pareciam implicar que a taxa de expansão do universo na verdade está aumentando. Assim, em vez de diminuir, a velocidade de expansão parece que vai acelerar. O universo, aparentemente, está se desfazendo. A força repulsiva por trás desse universo em fuga ainda é um mistério e tem sido rotulada de *energia escura*.

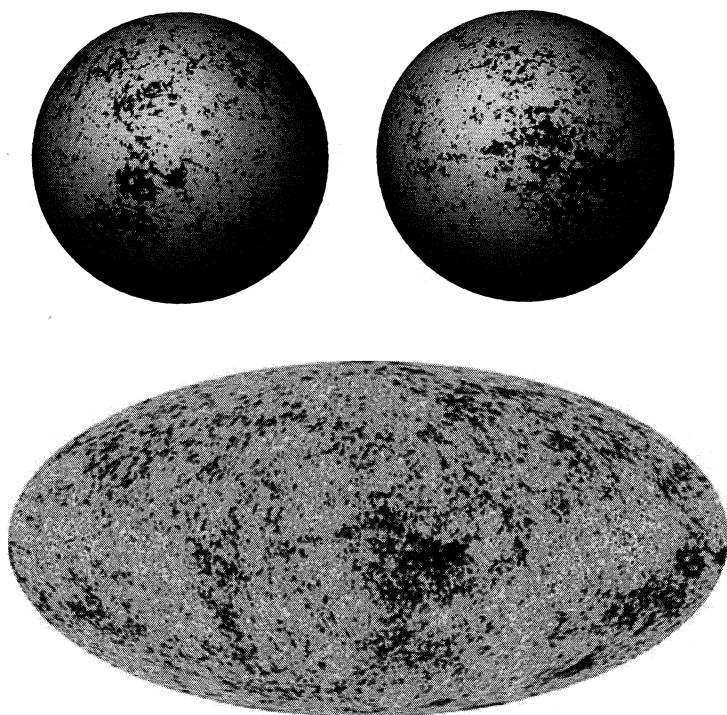
Com um período de inflação momentâneo e violento, uma matéria escura peculiar e uma atípica energia escura, o novo universo do Big Bang do século XXI é de fato um lugar estranho. Ao que parece, o eminente cientista J. B. S. Haldane teve uma visão tremenda quando escreveu em 1937: “Minha suspeita é de que o universo não é apenas mais esquisito do que supomos, mas mais esquisito do que podemos imaginar”.

A solução completa dos mistérios remanescentes do Big Bang vai exigir um ataque em três frentes, envolvendo mais desenvolvimentos teóricos, experiências de laboratório e, o que é mais importante, observações mais claras do cosmos. O satélite Cobe, por exemplo, completou sua missão científica no dia 23 de dezembro de 1993, e foi substituído por satélites com detectores ainda melhores, tais como o WMAP, cujos resultados aparecem na figura 103. Satélites ainda melhores estão sendo projetados e, na superfície da Terra, teremos radiotelescópios mais sensíveis e telescópios ópticos mais poderosos, além de experiências em busca de sinais da matéria escura.

As futuras observações vão desafiar, testar e estender o modelo do Big Bang. Podem levar a uma revisão na estimativa da idade do universo, diminuir a influência da matéria escura ou preencher alguns vazios no nosso conhecimento. Mas os cosmólogos geralmente concordam que esses serão apenas ajustes no esquema geral do modelo do Big Bang, em vez de uma mudança de paradigma para um novo modelo. Tal visão é respaldada pelos pioneiros Ralph Alpher e Robert Herman em seu livro *Genesis of the Big Bang*, publicado em 2001:

Embora restem muitas perguntas ainda não respondidas sobre a modelagem cosmológica, o modelo do Big Bang está em razoável boa forma. Temos certeza de que o trabalho teórico e as observações futuras irão aprimorá-lo, mas eu não imagino que, depois de cinquenta anos, o modelo venha a se revelar inadequado. Eu gostaria de poder voltar aqui, daqui a cinquenta anos, e ver como ele ficou.

Embora a maioria dos cosmólogos concorde com Alpher e Herman, é importante notar que o modelo do Big Bang ainda tem seus críticos inabaláveis, que continuam a preferir a noção de um universo eterno. Quando o modelo do estado estacionário se tornou insustentável, alguns dos seus defensores se bandearam para a versão modificada do modelo do estado quase estacionário. Os cosmólogos que ainda apóiam este campo minoritário são muito orgulhosos de seu papel em desafiar a ortodoxia do Big Bang. De fato, Fred Hoyle, que morreu em 2001, foi para o túmulo na firme crença de que



**Figura 103** O satélite WMAP (Sonda Anisotrópica de Microondas Wilkinson) foi projetado para medir a RCFM numa resolução 35 vezes melhor do que o satélite Cobe podia conseguir. Suas observações foram transformadas nos mapas mostrados aqui e divulgados em 2003. O formato de losango equivale à projeção dos mapas do Cobe mostrados na figura 101 (p. 427). Este mapa pode ser enrolado para formar uma esfera, e seus dois lados opostos também são mostrados. Você pode imaginar o satélite WMAP no centro da esfera, observando as variações RCFM através do céu.

Os dados do WMAP permitiram que vários parâmetros do universo fossem medidos com maior precisão do que antes. A equipe do WMAP estimou que o universo tem 13,7 bilhões de anos, com uma margem de erro de 0,2 bilhão. Também calculam que o universo seja 23% de matéria escura, 73% de energia escura e 4% de matéria comum. Além disso, o tamanho das variações é compatível com o que os astrônomos esperariam ver se houve uma fase inflacionária no universo primordial.



o modelo do estado quase estacionário está correto e de que o modelo do Big Bang está errado. Em sua autobiografia ele escreveu: “Afirmar que se alcançou a teoria certa, como fazem muitos dos defensores da cosmologia do Big Bang, me parece uma demonstração de arrogância. Se algum dia eu caí nessa armadilha, foi em curtos acessos de vaidade, seguidos, inevitavelmente, pela decepção”. Essa discórdia saudável é parte inerente da ciência e nunca deve ser desencorajada. Afinal, o próprio modelo do Big Bang resultou de uma rebelião contra o estabelecido.

E o ódio de Hoyle pelo modelo do Big Bang ao que tudo indica foi influenciado pelo fato de que foi o seu batismo que ajudou a imprimi-lo na consciência do público. O que acontece é que “Big Bang” foi um título curto, memorável, para a teoria da criação, e no entanto inventado pelo maior crítico da teoria. Embora alguns cosmólogos gostem do tom sensacionalista do termo, outros se queixam de que parece inadequado para um conceito de tão imponente envergadura. Até mesmo os personagens dos quadrinhos Calvin e Haroldo abordaram o problema na tira de Bill Watterson publicada em 21 de junho de 1992. Calvin diz para Haroldo: “Estive lendo sobre o princípio do universo. Eles chamam de “o Big Bang”. Não é estranho como os cientistas podem imaginar toda a matéria do universo explodindo de dentro de um ponto menor do que a cabeça de um alfinete, mas não podem sugerir um nome mais evocativo do que “Big Bang”? Esse é o problema com a ciência. Você tem um punhado de empiricistas tentando descrever coisas inimaginavelmente maravilhosas”. E Calvin continua sugerindo “o Horrendo Cabum Espacial!” como um título alternativo, que alguns cosmólogos realmente usaram por algum tempo, às vezes abreviando para HCE.

No ano seguinte, a revista *Sky & Telescope* promoveu um concurso para substituir o nome Big Bang, mas os prestigiosos juízes, Carl Sagan, Hugh Down e Timothy Ferris, não ficaram impressionados com as sugestões. Os novos títulos propostos incluíam “A bolha de Hubble”, “Universo Bertha D.” e “SAGAN” (“Scientists Awestruck by God’s Awesome Nature” [Cientistas assombrados com a natureza assombrosa de Deus]. Eles concluíram

que nenhuma das 13.099 sugestões vindas de 41 países era melhor do que rótulo depreciativo original de Hoyle, “Big Bang”.

Isso parece vir do fato de que o modelo do Big Bang é agora parte de nossa cultura. Toda uma geração cresceu com o Big Bang como o modelo que explica a criação, evolução e história do universo, e não podemos imaginar essa teoria com outro nome.

Até mesmo a Igreja passou a amar o modelo do Big Bang. Desde que o papa Pio XII endossou o Big Bang, a Igreja Católica tem tolerado em grande medida essa visão científica da criação. Abandonou efetivamente qualquer pretensão de que as Escrituras contêm uma explicação literal para o universo, o que se mostra uma mudança de atitude muito pragmática. No passado, Deus fornecia a mão condutora por trás de todos os mistérios do universo, das erupções vulcânicas ao pôr-do-sol, mas a ciência foi fornecendo explicações racionais e naturais para tais fenômenos. O químico Charles Coulson criou o termo “Deus das lacunas” para indicar uma divindade que seria responsável por tudo o que estivesse além da nossa compreensão, e que teria o seu poder diminuído à medida que cada lacuna do conhecimento fosse preenchida pela ciência. Mas agora a Igreja Católica se concentra no mundo espiritual e deixa para a ciência a tarefa de explicar o mundo natural. O que significa que pode estar segura de que qualquer descoberta científica futura não poderá diminuir o *status* de Deus. Ciência e religião podem viver de modo independente, lado a lado.

Em 1988, como que para reforçar essa independência, o papa João Paulo II declarou: “O cristianismo tem a fonte de suas justificativas dentro de si mesmo e não espera que a ciência seja sua principal defensora”. Então, em 1992, o Vaticano até mesmo admitiu que errou ao perseguir Galileu. Defender uma visão do universo centrada no Sol fora considerado heresia, porque, de acordo com a Bíblia: “Deus fixou a Terra em suas fundações para não se mover nunca mais”. Contudo, depois de um inquérito que durou 13 anos, o cardeal Paul Poupard relatou que os teólogos da época do julgamento de Galileu “não conseguiram perceber o profundo significado não literal das Escrituras quando descrevem a estrutura física do universo”. E, em 1999,

o papa deu um final simbólico ao secular conflito entre religião e cosmologia quando percorreu a sua Polônia natal e visitou o local de nascimento de Nicolau Copérnico, especificamente para elogiar suas conquistas científicas.

Talvez encorajados pela nova tolerância da Igreja, alguns cosmólogos decidiram investigar as implicações filosóficas do modelo do Big Bang. O modelo descreve, por exemplo, como o universo começou com uma sopa primordial quente e densa e então evoluiu para um vasto conjunto de galáxias, estrelas, planetas e formas de vida que existem hoje em dia — será que isso era inevitável, ou o universo poderia ser diferente? O astrônomo real Martin Rees aborda tal questão em seu livro *Apenas seis números*. No livro ele explica como a estrutura do universo depende, em última análise, de apenas seis parâmetros, como a força da gravidade. Os cientistas podem medir o valor de cada um desses parâmetros, o que dá os seis números do título. Rees se pergunta como tudo poderia ter sido diferente se esses números tivessem tomado outros valores quando o universo foi criado. Por exemplo, se o número relacionado à gravidade fosse maior, então a força da gravidade teria sido mais forte, o que resultaria em estrelas se formando mais rapidamente.

Um número, que Rees chama de  $\epsilon$ , reflete o valor da força nuclear forte, que une os prótons e nêutrons no núcleo de um átomo. Quanto maior o valor de  $\epsilon$ , mais forte é a união. As medições mostram que  $\epsilon = 0,007$ , o que é uma sorte incrível, porque, se fosse diferente, as consequências teriam sido catastróficas. Se  $\epsilon = 0,006$ , a cola nuclear teria sido ligeiramente mais fraca e seria impossível fundir hidrogênio em deutério. Este é o primeiro passo na estrada para formar o hélio e todos os elementos pesados. De fato, se  $\epsilon = 0,006$ , então todo o universo estaria cheio com nada mais do que hidrogênio uniforme e não haveria a menor chance de existir nenhum tipo de vida. E, se  $\epsilon = 0,008$ , a cola nuclear seria levemente mais forte e o hidrogênio rapidamente se transformaria em deutério e hélio — com tanta rapidez que todo o hidrogênio teria desaparecido na fase inicial do Big Bang e não teria restado nenhum combustível para as estrelas. E, de novo, não haveria a menor chance de vida.

Rees examina os outros cinco números que definem o universo e explica como uma mudança em qualquer um deles teria afetado gravemente a evolução do universo. De fato, alguns desses números são ainda mais sensíveis a mudanças do que o  $\epsilon$ . Se seus valores fossem ligeiramente diferentes dos valores que medimos, o universo seria estéril ou teria se destruído assim que nasceu.

Conseqüentemente, parece que esses seis números foram regulados para permitir a existência de vida. É como se os seis botões que controlam a evolução do universo tivessem sido ajustados cuidadosamente para criar as condições necessárias para que existíssemos. O eminente físico Freeman Dyson escreveu: “Quanto mais examino o universo e os detalhes de sua arquitetura, mais evidências encontro de que o universo, de algum modo, devia saber que estávamos vindo”.

Isso nos remete ao princípio antrópico mencionado no capítulo 5 e que Fred Hoyle explorou para determinar como o carbono é criado dentro das estrelas. O princípio antrópico declara que qualquer teoria cosmológica deve levar em conta o fato de que o universo evoluiu para nos conter. Implica que isso deve ser um elemento significativo na pesquisa cosmológica.

O filósofo canadense John Leslie imaginou o cenário do pelotão de fuzilamento para elucidar o princípio antrópico. Imagine que você foi acusado de traição e está esperando para ser executado diante de um pelotão de vinte soldados. Você ouve a ordem para disparar, vê os vinte fuzis atirarem e então percebe que nenhuma das balas o atingiu. A lei diz que você pode ir embora, livre, em tal situação, mas, à medida que caminha para a liberdade, começa a se perguntar por que ainda está vivo. Será que todas as balas erraram por acaso? Será que esse tipo de coisa acontece uma vez a cada 10 mil execuções, ou você apenas teve muita sorte? Ou haveria um motivo por trás de sua sobrevivência? Será que todos os vinte integrantes do pelotão de fuzilamento erraram deliberadamente porque acreditavam na sua inocência? Ou será que, quando as miras dos fuzis foram calibradas na noite anterior houve um erro de alinhamento, de modo que todos os fuzis dispararam dez graus para a direita do alvo? Você pode passar o resto da sua vida presu-

minho que a execução fracassada foi produto apenas do acaso, mas será difícil não associar algum significado mais profundo à sua sobrevivência.

De modo semelhante, o fato de os seis números que caracterizam o universo terem valores muito especiais, que permitem que a vida se desenvolva, parece desafiar o acaso. Assim, ignoramos isso e nos consideramos extremamente afortunados, ou procuramos algum significado especial em nossa extraordinária boa sorte?

De acordo com uma versão extrema do princípio antrópico, a sintonia do universo que permitiu que a vida evoluísse é uma indicação de um sintonizador. Em outras palavras, o princípio antrópico pode ser interpretado como evidência da existência de um Deus. Contudo, uma visão alternativa é de que nosso universo é parte de um *multiverso*. A definição de universo no dicionário é a de que este abrange tudo, mas os cosmólogos tendem a definir o universo como apenas a coleção daquelas coisas que podemos perceber ou que podem nos influenciar. De acordo com essa definição, poderiam existir muitos outros universos, separados e isolados, cada um definido por seu próprio conjunto de seis números. O multiverso assim consistiria em numerosos universos diversos, talvez uma infinidade de universos. A grande maioria deles seria estéril ou de vida curta, ou ambos, mas por acaso alguns conteriam o tipo de ambiente capaz de desenvolver e sustentar a vida. É claro que vivemos em um desses universos condutores de vida.

“O cosmos talvez tenha alguma coisa em comum com uma loja de roupas prontas”, diz Rees. “Se a loja tiver um estoque grande o bastante, não ficaremos surpresos de encontrar um terno que nos sirva. De modo semelhante, se nosso universo foi selecionado a partir de um multiverso, suas características de desenho e sintonia não seriam surpreendentes.”

Tal questão — será que nosso universo foi projetado para a vida, ou é apenas um universo sortido num multiverso geralmente azarado? — está na fronteira da especulação científica e é tema de um debate acalorado entre os cosmólogos. A única pergunta que a ultrapassa em magnitude metafísica é a maior questão de todas: o que existia antes do Big Bang?

Até agora, a potencialidade modelo do Big Bang tem se limitado a descrever como o vasto cosmos, observável hoje em dia, emergiu e evoluiu de um estado quente e denso há bilhões de anos. Saber até que ponto você está preparado para recuar com o modelo do Big Bang depende da inclusão de características como uma fase inflacionária ou as últimas teorias da física de partículas que se propõem a descrever o universo quando ele tinha uma temperatura de  $10^{32}$  graus Celsius e apenas  $10^{-43}$  segundos de idade

Isso ainda deixa a questão proeminente do momento real da criação e do que o causou. Trata-se de um assunto do qual George Gamow procurou fugir rapidamente quando os críticos o questionaram sobre a amplitude de sua pesquisa. Ele acrescentou uma retratação na segunda edição de seu tratado popular *Creation of the Universe*:

Em vista das objeções levantadas por alguns críticos em relação ao uso da palavra “criação”, deve ser explicado que o autor usa este termo não no sentido de “produzir alguma coisa a partir do nada”, e sim no de “dar forma a alguma coisa a partir de algo sem forma”, como, por exemplo, na frase “a última criação da moda parisiense”.

A incapacidade de abordar o que aconteceu antes do Big Bang pode ser um desapontamento, mas não é um fracasso danoso para a cosmologia. Na pior das hipóteses, o modelo do Big Bang pode permanecer válido mas incompleto, o que o colocaria ao lado de muitas outras teorias científicas. Os biólogos estão bem longe de explicar como a vida foi criada, mas isso não questiona a validade de sua teoria da evolução pela seleção natural ou os conceitos de genes e DNA. Os cosmólogos, entretanto, devem admitir que estão, provavelmente, em uma posição pior do que os biólogos. Existe todo tipo de motivo para acreditar que as leis-padrão da química, como as compreendemos, estavam por trás da construção da primeira célula e do primeiro DNA, enquanto não está claro se as leis conhecidas da física eram válidas no momento da criação cósmica. À medida que fazemos o relógio correr para trás, e o universo se aproxima do momento zero do tempo, parece que

toda a matéria e a energia estavam concentradas em um ponto, o que cria um grande problema para as leis da física. No momento da criação, o universo parece entrar em um estado não físico conhecido como *singularidade*.

Mesmo se os cosmólogos pudessem lidar com a física de uma singularidade, muitos deles afirmam que a pergunta “o que havia antes do Big Bang?” seria impossível de responder porque é uma pergunta sem validade. Afinal, o modelo declara que o Big Bang deu origem não somente à matéria e à radiação, mas também ao espaço e ao tempo. Assim, se o tempo foi criado durante o Big Bang, então o tempo não existia antes do Big Bang e é portanto impossível usar a frase “antes do Big Bang” sob qualquer sentido. Outro meio de pensar nisso é em termos da palavra “norte”, que pode ser usada em perguntas como “o que está ao norte de Londres?” ou o que fica “ao norte de Edimburgo”, mas não faz sentido no contexto do “o que existe ao norte do Pólo Norte?”.

Os críticos podem achar que, se isso é o melhor que os cosmólogos podem oferecer, então “o que havia antes do Big Bang?” é um enigma que tem que ser relegado ao reino do mito e da religião, uma brecha para Deus que irá permanecer para sempre além do alcance da ciência. Em seu livro *God and the astronomers*, o astrônomo americano Robert Jastrow foi pessimista em relação às ambições dos teóricos do Big Bang: “Ele escalou as montanhas da ignorância; está a ponto de conquistar o mais alto pico; mas, quando se ergue sobre a última rocha, é saudado por um bando de teólogos que estavam morando lá havia séculos”.

Um meio de evitar o problema da criação é considerar um universo com um ligeiro excesso de peso. O universo se expandiria, mas a massa extra resultaria em uma força gravitacional maior que pararia a expansão e a reverteria, de modo que o universo começaria de fato a se contrair. O universo pareceria estar se dirigindo para um Big Crunch, como mencionado anteriormente, mas em vez disso haveria um Big Bounce [Grande Salto]. À medida que a matéria e a energia se tornassem concentradas, o universo poderia chegar a um estágio crítico no qual a pressão e a energia contrabalançariam a gravidade e começariam a empurrar o universo para fora. Isso levaria a

outro Big Bang e outra fase de expansão até que a gravidade detivesse a expansão, resultando em uma contração seguida de outro Big Crunch e outro Big Bang e assim por diante.

Esse universo fênix, oscilante, reciclável, ecologicamente correto, seria eterno, mas não poderia ser considerado um estado estacionário. Esta não é uma versão do modelo do estado estacionário e sim um modelo de Big Bang múltiplo, que tem sido discutido seriamente por vários cosmólogos, inclusive Friedmann, Gamow e Dicke.

Outros, como Eddington, detestam tal visão de um universo reciclável: “Eu me sentiria mais contente se o universo realizasse algum grande esquema de evolução, e, tendo atingido o que quer que devesse ser atingido, mergulhasse de novo no caos imutável, em lugar de seu propósito ser banalizado pela repetição contínua”. Em outras palavras, um universo em expansão contínua iria, finalmente, se tornar frio e inóspito porque suas estrelas esgotariam o combustível de hidrogênio e deixariam de brilhar, e Eddington preferia esse cenário do “Big Freeze” (ou “morte térmica”) a um universo infinitamente repetitivo e tedioso.

Além da crítica subjetiva de Eddington, o Big Bang oscilante enfrenta uma série de problemas práticos. Nenhum cosmólogo, por exemplo, conseguiu determinar as forças que seriam necessárias para provocar a oscilação cósmica. E, de qualquer modo, as últimas observações indicam que a expansão do universo está se acelerando, o que reduz a probabilidade de a atual expansão se transformar em uma contração.

Mas, apesar de suas falhas, o cenário do universo oscilante permite que o colapso do universo provoque o próximo Big Bang, o que pelo menos responde à questão de causa e efeito que está na origem do nosso desejo de descobrir o que havia antes do Big Bang. Mas talvez “causa e efeito” seja um preconceito proveniente do bom senso que deveria ser colocado de lado no contexto cosmológico. Afinal, a expansão do Big Bang começou em uma escala miniatura, e o bom senso não se aplica de fato a este reino extremo. Em lugar dele são as estranhas regras da física quântica que controlam tudo.



A física quântica é a teoria mais estranha e mais bem-sucedida de toda a física. Como disse Niels Bohr, um dos fundadores da física quântica. “se alguém não ficar chocado com a teoria quântica é porque não a entendeu”.

Embora “causa e efeito” seja um princípio válido, no mundo macroscópico do dia-a-dia, é o chamado *princípio da incerteza* que rege o domínio quântico submicroscópico. Este princípio afirma que os eventos podem acontecer espontaneamente, o que já foi mostrado em experiências. Também permite que matéria apareça do nada, ainda que temporariamente. No nível do nosso dia-a-dia, o mundo parece ser determinístico e as leis da conservação se mantêm, mas no nível microscópico o determinismo e a conservação podem ser violados.

Daí que a *cosmologia quântica* oferece várias hipóteses que permitem que o universo tenha começado do nada sem nenhum motivo. Por exemplo, um universo-bebê poderia ter surgido espontaneamente do nada, talvez junto com uma infinidade de outros universos, que fazem parte do multiverso. Como disse Alan Guth, o pai da teoria inflacionária, “diz-se freqüentemente que não existe essa coisa de almoço grátis. Mas o próprio universo pode ser um almoço grátis”.

Infelizmente a comunidade científica tem que admitir que todas essas respostas possíveis, dos universos oscilantes à criação quântica espontânea, são muito especulativas e não respondem adequadamente à questão final sobre a origem do universo. Entretanto, a atual geração de cosmólogos não deve desanimar. Eles devem se regozijar com o fato de que o modelo do Big Bang é uma descrição coerente e consistente do nosso universo. Devem orgulhar-se de o modelo do Big Bang ser o pináculo da realização humana, porque explica muito do presente do universo ao revelar o seu passado. Eles devem sair e dizer ao mundo que o modelo do Big Bang é um tributo à curiosidade humana e ao nosso intelecto. E, se alguém do público fizer a pergunta mais difícil de todas, “o que havia antes do Big Bang?”, então eles podem considerar a possibilidade de seguir o exemplo de santo Agostinho.

Em sua autobiografia *Confissões*, escrita por volta do ano 400, o filósofo e teólogo santo Agostinho cita uma resposta que ouviu para o equivalente teológico de “o que havia antes do Big Bang?”:

O que Deus estava fazendo antes de criar o universo?

Antes de criar o Céu e a Terra, Deus criou o inferno para nele

Colocar pessoas como você, que fazem esse tipo de pergunta.

## O QUE É CIÊNCIA?

As palavras “ciência” e “cientista” são invenções surpreendentemente modernas. De fato, a palavra “cientista” foi criada pelo polímata vitoriano William Whewell, que a usou no *Quarterly Review* de março de 1834. Os americanos adotaram a palavra quase imediatamente e, no final do século, ela já era popular também na Grã-Bretanha. A palavra é baseada no latim *scientia*, que significa “conhecimento”, e suplantou outros termos, como “filósofo natural”.

Este livro é a história do modelo do Big Bang, mas ao mesmo tempo tenta fornecer um esclarecimento sobre o que é a ciência e como ela funciona. O modelo do Big Bang é um bom exemplo de como uma idéia científica é criada e testada, verificada e aceita. Não obstante, a ciência é uma atividade tão ampla que sua descrição neste livro é incompleta. Assim, numa tentativa de preencher as lacunas, aqui vai uma seleção de citações a respeito da ciência.

Ciência é o conhecimento organizado.

HERBERT SPENCER (1820-1903), filósofo inglês

A ciência é o grande antídoto contra o veneno do entusiasmo e da superstição.

ADAM SMITH (1723-90), economista escocês

Ciência é o que você sabe. Filosofia é o que você não sabe.

BERTRAND RUSSELL (1872-1970), filósofo inglês

[Ciência é] uma série de julgamentos, revisados sem cessar.

PIERRE ÉMILE DUCLAUX (1840-1904), bacteriologista francês

[Ciência é] o desejo de conhecer as causas.

WILLIAM HAZLITT (1778-1830), ensaísta inglês

[Ciência é] o conhecimento das conseqüências, e da dependência de um fato em relação a outro.

THOMAS HOBBES (1588-1679), filósofo inglês

[Ciência é] uma aventura imaginativa da mente buscando a verdade num mundo de mistérios.

CYRIL HERMAN HINSHELWOOD (1897-1967), químico inglês

[Ciência é] um grande jogo. É inspiradora e agradável. E o campo do jogo é o próprio universo.

ISIDOR ISAAC RABI (1898-1988), físico americano

O homem domina a natureza não pela força, mas pela compreensão. É por isso que a ciência teve sucesso onde a mágica fracassou: porque ela não buscou um encantamento para lançar sobre a natureza.

JACOB BRONOWSKI (1908-74), cientista britânico e escritor

Esta é a essência da ciência: faça uma pergunta impertinente e você estará no caminho para uma resposta pertinente.

JACOB BRONOWSKI (1908-74), cientista britânico e escritor

É um bom exercício para o pesquisador livrar-se de uma hipótese favorita todo dia, antes do café-da-manhã. Isso o tornará jovem.

KONRAD LORENZ (1903-89), zoólogo austríaco

A verdade na ciência pode ser mais bem definida como a hipótese de trabalho mais adequada para abrir caminho até a próxima hipótese.

KONRAD LORENZ (1903-89), zoólogo austríaco

Em sua essência, a ciência é uma busca perpétua por uma compreensão inteligente e integrada do mundo em que vivemos.

CORNELIUS VAN NEIL (1897-1985), microbiólogo americano.

O cientista não é a pessoa que dá as respostas certas, é aquele que faz as perguntas certas.

CLAUDE LÉVI-STRAUSS (1908-), antropólogo francês

A ciência só pode determinar o que *é*, não o que *deve ser*, e fora do seu domínio permanece a necessidade de juízos de valor de todos os tipos.

ALBERT EINSTEIN (1879-1955), físico nascido na Alemanha

A ciência é a busca desinteressada pela verdade objetiva a respeito do mundo material.

RICHARD DAWKINS (1941-), biólogo inglês

A ciência nada mais é do que o bom senso treinado e organizado, diferindo do último apenas como um veterano pode diferir de um recruta recém-chegado; e seus métodos diferem do bom senso só até onde o golpe e a estocada de um soldado da guarda diferem do modo como um selvagem maneja a sua clava.

THOMAS HENRY HUXLEY (1825-95) biólogo inglês

As ciências não tentam explicar, nem mesmo tentam interpretar, e sim fazem, principalmente, modelos. Por um modelo quero dizer uma construção matemática, a qual, com o acréscimo de certas interpretações verbais, descreve fenômenos observados. A justificativa para tais construções matemáticas é apenas, e precisamente, que elas funcionem como se espera.

JOHN VON NEUMANN (1903-57), matemático nascido na Hungria.

A ciência de hoje é a tecnologia de amanhã.

EDWARD TELLER (1908-2003), físico americano

Cada grande avanço da ciência estimulou uma nova audácia da imaginação.

JOHN DEWEY (1859-1952), filósofo americano

Quatro estágios de aceitação:

i) isso é um absurdo inútil,

ii) isso é um ponto de vista interessante, mas errado,

iii) isso é verdade, mas não tem importância,

iv) eu sempre falei isso.

J. B. S. HALDANE (1892-1964), geneticista inglês

A filosofia da ciência é tão útil para os cientistas quanto a ornitologia para os pássaros.

RICHARD FEYNMAN (1918-88), físico americano

Um homem deixa de ser um principiante em qualquer ciência e se torna um mestre quando aprende que vai ser um principiante a vida inteira.

ROBIN G. COLLINGWOOD (1889-1943), filósofo inglês

## GLOSSÁRIO

Os termos em *itálico* tem suas próprias definições no glossário.

**Absorção** O processo pelo qual os *átomos* absorvem luz de *comprimentos de onda* específicos, permitindo que sua presença seja detectada pela *espectroscopia* ao identificar os comprimentos de onda “ausentes”.

**Ano-luz** A distância que a luz percorre em um ano do calendário, aproximadamente 9.460.000.000.000 quilômetros.

**Átomo** O menor componente de um *elemento*, formado por um *núcleo* positivamente carregado, cercado por *elétrons* de carga negativa. O número de *prótons* de carga positiva no núcleo determina a qual elemento químico aquele átomo pertence. Por exemplo, cada átomo contendo um único próton é um átomo de *hidrogênio*, enquanto cada átomo contendo 79 prótons é um átomo de ouro.

**Campo de criação (Campo C)** Um conceito teórico introduzido como parte do *modelo do estado estacionário*. O campo C mantém a densidade geral do universo, criando matéria para preencher os vazios deixados pela expansão do universo.

**Cobe (Cosmic Background Explorer)** Satélite lançado em 1989 para fazer medições precisas da *radiação cósmica de fundo em microondas* (RCFM). Seu detector DMR forneceu a primeira evidência de variações na RCFM, indicativas de regiões no universo primordial que levaram à formação das *galáxias*.

**Comprimento de onda** A distância entre dois picos sucessivos (ou depressões) de uma onda. O comprimento de onda da *radiação eletromagnética* determina a qual parte do *espectro eletromagnético* pertence e suas propriedades gerais.

**Conferências Solvay** Uma série de conferências, de grande prestígio, só para convidados, realizadas a intervalos de alguns anos para discutir problemas nas fronteiras da física.

**Constante cosmológica** Parâmetro extra incorporado por Einstein às equações de sua *teoria da relatividade geral* quando ficou claro que suas equações implicariam o crescimento ou o encolhimento do universo. Ao introduzirem, efetivamente, uma antigravidade, as equações permitiram a existência de um universo estático.

**Constante de Hubble ( $H_0$ )** Parâmetro mensurável do universo, que descreve sua taxa de expansão. Acredita-se que tenha um valor de 50-100 km/s/Mpc, o que significa que uma *galáxia* a um megaparsec de distância estará se afastando com uma velocidade entre 50 e 100 km/s. A constante de Hubble surge a partir da definição da *lei de Hubble*.

**Cosmologia** O estudo da origem e evolução do universo.

**Decaimento radioativo** Processo pelo qual um *núcleo* atômico se transforma espontaneamente e libera energia. Normalmente, se transformará em um núcleo mais leve e mais estável.

**Deferente** O grande círculo usado para descrever o movimento de um corpo celeste em torno da Terra no *modelo ptolomaico*. Quando combinado com um *epiciclo* menor, os movimentos planetários observados podem ser reproduzidos aproximadamente.

**Desvio para o vermelho** Aumento no *comprimento de onda* da luz emitida, causado pela velocidade de afastamento do emissor e pelo *efeito Doppler* resultante. Na cosmologia, este termo é geralmente associado ao esticamento das *ondas de luz* de uma *galáxia* distante à medida que o universo expande. A galáxia não está se afastando através do espaço e, sim, é a expansão do próprio espaço que causa o desvio para o vermelho.

**Deutério** Um *isótopo* do *hidrogênio* que contem um *próton* e um *nêutron* no *núcleo*.

**Efeito Doppler** A mudança no *comprimento de onda* do som ou das *ondas eletromagnéticas* emitidas por uma fonte em movimento. O mesmo efeito ocorre se o observador (e não a fonte) estiver se movendo. As ondas são comprimidas na frente da fonte e esticadas atrás dela, produzindo, por exemplo, a mudança familiar na tonalidade do som de uma sirene, de alto para baixo, à medida que uma ambulância passa em alta velocidade. Um efeito semelhante causa o *desvio para o vermelho* no espectro de uma *galáxia* que se afasta.

**Elemento** Uma das matérias básicas do universo, listadas na tabela periódica. A menor quantidade de um elemento é um *átomo* e o número de *prótons* de um átomo determina o tipo de elemento.



- Elétron** Partícula subatômica com carga negativa. Elétrons podem existir de modo independente ou em órbita de um *núcleo* positivamente carregado de um *átomo*.
- Emissão** O processo pelo qual *átomos* são excitados (por exemplo, pelo aquecimento) e emitem luz com *comprimentos de onda* específicos, permitindo que sua presença seja detectada pela *espectroscopia*.
- Energia escura** Forma de energia postulada para explicar observações recentes que implicam que a expansão do universo está acelerando. Embora cálculos sugiram que pode ter uma contribuição dominante na massa-energia do universo, não existe um acordo quanto a sua natureza.
- Epiciclo** Pequeno círculo usado no *modelo ptolomaico* do universo centrado na Terra, junto com o *deferente*, ele reproduz os *movimentos retrógrados* de alguns planetas enquanto estes se movem em suas supostas órbitas em torno da Terra.
- Espaço-tempo** A construção unificada na qual as três dimensões do espaço se combinam com a quarta dimensão do tempo para produzir a estrutura subjacente do nosso universo. O conceito de espaço-tempo é uma parte integral das teorias *da relatividade geral e especial*. A curvatura do espaço-tempo produz a força que interpretamos como *gravidade*.
- Espectro eletromagnético** A faixa completa de *comprimentos de onda* da *radiação eletromagnética*, dos raios gama e raios X, de comprimentos de onda curtos (altas energias), passando pelo *ultravioleta*, *luz visível* e *infravermelho* até as *ondas de rádio* de comprimentos de onda longos (baixas energias).
- Espectroscopia** Estudo da luz pela divisão em seus *comprimentos de onda* componentes para aprender a respeito de sua fonte.
- Espectroscópio** Instrumento que separa as *ondas de luz* nos *comprimentos de onda* que a compõem para análise. Pode ser usado para identificar os *átomos* que emitiram a luz ou para medir a extensão do *desvio para o vermelho*.
- Estrela** Bola feita predominantemente de *hidrogênio*, compactada pelo efeito de sua própria *gravidade*, e com massa suficiente para que as temperaturas e pressões em seu interior iniciem a  *fusão nuclear*. As estrelas tendem a ocorrer em formações chamadas *galáxias*.
- Estrela RR Lyrae** Tipo de *estrela* variável menos luminosa do que uma *variável cefeida* e com um período entre 9 e 17 horas. A incapacidade de detectar estrelas RR Lyrae na galáxia de Andrômeda, nos anos 1940, foi um indício importante de que a *galáxia* era mais distante do que se pensava previamente.
- Estrela variável cefeida** Tipo de *estrela* cujo brilho varia ao longo de um período preciso e regular, geralmente entre um e cem dias. O período de variação está

diretamente ligado à luminosidade média da estrela; o que pode ser, portanto, calculado. Ao comparar a luminosidade da estrela com seu brilho aparente, visto da Terra, sua distância pode ser determinada com precisão. Essas estrelas, portanto, desempenham um papel importante na determinação da escala de distâncias cósmicas.

**Éter** A substância onipresente através da qual se acreditava que a luz se propagava. Sua existência foi desmentida pela experiência *de Michelson-Morley*.

**Experiência mental** Experiência realizada com o pensamento, levando-o através de uma corrente lógica de acontecimentos. É útil quando as condições requeridas para uma experiência real são proibitivas.

**Experiência de Michelson-Morley** Experimento realizado no final do século XIX para detectar o movimento da Terra através do *éter* medindo-se a *velocidade da luz* perpendicularmente e na direção na qual a Terra viaja. A experiência desmentiu a existência do *éter*.

**Física nuclear** Estudo dos *núcleos* atômicos, suas interações e sua estrutura.

**Fissão** Processo através do qual um *núcleo* atômico grande se parte para produzir dois núcleos menores, em geral liberando energia como um dos resultados. O *decaimento radioativo* é um processo de fissão que acontece espontaneamente.

**Fusão** Processo pelo qual dois *núcleos* atômicos pequenos se unem para formar um único núcleo maior, geralmente liberando energia como um dos resultados. Por exemplo, núcleos de *hidrogênio* podem se fundir através de um processo de várias etapas para formar o *hélio*.

**Galáxia** Ajuntamento de *estrelas*, gás e poeira unidas pela *gravidade*, e geralmente separado das galáxias vizinhas, com uma forma freqüentemente espiral ou elíptica. As galáxias variam em tamanho, de em torno de 1 milhão de estrelas a vários bilhões.

**Gravidade** Força de atração experimentada entre qualquer par de corpos maciços. A gravidade foi primeiro descrita por Newton, mas Einstein produziu uma descrição mais precisa em sua *teoria da relatividade geral* que depende da curvatura do *espaço-tempo*.

**Hélio** O segundo *elemento* mais comum e mais leve do universo, depois do *hidrogênio*. Seu *núcleo* contém dois *prótons* e (geralmente) dois *nêutrons*. As pressões e temperaturas dentro das *estrelas* podem forçar o hélio a passar por uma  *fusão*, formando núcleos mais pesados.

**Hidrogênio** É o *elemento* mais simples e mais abundante no universo. Contém um *próton* em seu *núcleo*, orbitado por um *elétron*. Veja também *deutério*.

**Homogêneo** Que tem propriedades semelhantes em todos os locais.

**Inflação** Fase de expansão extremamente rápida durante os primeiros  $10^{-35}$  segundos do universo. Embora seja hipotética, a inflação explicaria várias características do universo.

**Infravermelho** É a porção do *espectro eletromagnético* com *comprimentos de onda* ligeiramente mais longos que os da *luz visível*.

**Isótopo** Variação de um único *elemento* que se distingue por ter um número diferente de *nêutrons* em seu *núcleo*. Por exemplo, o *hidrogênio* tem três isótopos com zero, um e dois nêutrons respectivamente, mas todos contêm apenas um *próton*.

**Isotrópico** Semelhante em todas as direções.

**Lei de Hubble** Lei determinada empiricamente que declara que a velocidade de afastamento de uma *galáxia* é proporcional a sua distância:  $v = H_0 \times d$ . A constante de proporcionalidade na equação ( $H_0$ ) é a *constante de Hubble*.

**Luz visível** Região do *espectro eletromagnético* que contém a *radiação eletromagnética* que os seres humanos podem ver. Os *comprimentos de onda* variam de 0,0004 mm (violeta) a 0,0007 mm (vermelho).

**Matéria escura** Forma de matéria postulada que se acredita formar uma fração significativa da matéria no universo. Faz sentir sua presença pela *gravidade*, mas emite pouca ou nenhuma *luz visível*.

**Minuto** Unidade usada para a medição de ângulos muito pequenos, igual a 1/60 de 1 grau.

**Modelo** Conjunto lógico de regras e parâmetros destinado a descrever, matematicamente, algum aspecto do mundo real.

**Modelo do Big Bang** *Modelo* atualmente aceito para o universo que afirma que o tempo e o espaço surgiram de uma região compacta, quente e densa entre 10 e 20 bilhões de anos atrás.

**Modelo copernicano** *Modelo* de universo centrado no Sol, proposto por Nicolau Copérnico no século XVI.

**Modelo do estado estacionário** *Modelo* de universo muito desacreditado no qual o universo se expande e matéria nova é criada nos vazios crescentes entre as *galáxias*. O universo, assim, manteria uma densidade semelhante em todas as épocas e duraria por toda a eternidade.

**Modelo do estado quase estacionário** Versão modificada do *modelo do estado estacionário* que tenta superar algumas das incoerências do modelo original.

**Modelo ptolomaico** *Modelo* defeituoso do universo centrado na Terra, no qual todos os outros corpos cósmicos seguem órbitas em torno da Terra. Tais órbitas eram construídas a partir de círculos perfeitos chamados *deferentes* e *epíclis*.

**Movimento próprio** Movimento aparente de uma *estrela* através do céu, causado por seu movimento real em relação ao Sol. O efeito é tão pequeno que não foi detectado antes de 1718.

**Movimento retrógrado** Mudança temporária na direção aparente dos movimentos de Marte, Júpiter e Saturno. É uma consequência da observação desses planetas a partir da Terra, que tem uma velocidade orbital mais alta em torno do Sol.

**Multiverso** *Modelo* alternativo em relação ao universo único, no qual muitos universos diferentes coexistem, cada um com um conjunto diferente de leis físicas, e cada um isolado dos outros.

**Navalha de Occam** Regra básica que declara que, na presença de explicações alternativas adequadas para um fenômeno, a mais simples tem mais probabilidade de ser a correta.

**Nebulosa** Nuvem de gás e, freqüentemente, de poeira na galáxia da *Via Láctea* vista como uma mancha indistinta de luz no céu noturno, em contraste com as *estrelas* pontuais. No século XX, depois da solução do Grande Debate, muitos objetos rotulados como nebulosas antes de 1900 foram reconhecidos como *galáxias* separadas.

**Nêutron** Partícula encontrada dentro do *núcleo* atômico. Um nêutron tem quase a mesma massa do *próton*, mas não contém carga elétrica.

**Notação exponencial** Método conveniente de se abreviar números muito grandes ou muito pequenos. Por exemplo, 1.200 pode ser escrito como  $1,2 \times 10^3$  porque é igual  $1,2 \times (10 \times 10 \times 10)$ , e 0,0005 pode ser escrito como  $5 \times 10^{-4}$  porque é igual  $5 \div (10 \times 10 \times 10 \times 10)$ .

**Nova** Em geral, uma *estrela* que rapidamente se torna 50 mil vezes mais brilhante em poucos dias e então retorna ao seu brilho anterior ao longo de alguns meses. Uma nova é abastecida por material que flui de uma estrela companheira próxima.

**Núcleo** Estrutura compacta no centro de um *átomo*, contendo *prótons* e *nêutrons* e sendo responsável, no mínimo, por pelo menos 99,95% da massa de qualquer átomo.

**Núcleon** Termo genérico para os *prótons* e os *nêutrons*, duas partículas encontradas no *núcleo* atômico.

**Nucleossíntese** Formação dos *elementos* via  *fusão* nuclear, particularmente nas *estrelas* e nas explosões de *supernovas*. A nucleossíntese dos *núcleos* atômicos leves aconteceu momentos depois do *Big Bang*.

**Onda de luz** ver *ondas eletromagnéticas*.

- Ondas de rádio** *Radiação eletromagnética com comprimentos de onda* mais longos do que alguns milímetros, incluindo as microondas. O estudo das ondas de rádio emitidas por objetos celestes é chamado de *radioastronomia*.
- Ondas eletromagnéticas** Vibração harmonizada de campos elétricos e magnéticos, cada um sustentando o outro e se propagando juntos através do espaço como *radiação eletromagnética*.
- Paralaxe** Mudança aparente na localização de um objeto quando um observador muda de posição. A *paralaxe estelar* é usada na astronomia para medir a distância das *estrelas* mais próximas.
- Paralaxe estelar** Mudança na posição aparente de uma *estrela* próxima contra o fundo das estrelas distantes, causada pela mudança de posição do observador à medida que a Terra orbita o Sol.
- Parsec** Unidade de distância usada na astronomia, igual a cerca de 3,26 *anos-luz*. É uma abreviação de “paralaxe segundo” e é a distância na qual um objeto mostraria uma *paralaxe estelar* de um segundo. A distância de 1 milhão de parsecs é conhecida como um megaparsec (Mpc).
- Partícula alfa** Partícula subatômica ejetada durante certos tipos de *decaimento radioativo*. A partícula, que consiste em dois *prótons* e dois *nêutrons*, é idêntica ao *núcleo* de um *átomo de hélio*.
- Plasma** Estado da matéria sob altas temperaturas no qual os *núcleos* atômicos se tornam separados de seus *elétrons*.
- Princípio antrópico** Princípio que afirma que, desde que se sabe da existência de seres humanos, as leis da física devem ser tais que permitam a existência da vida. Em sua forma mais extrema, o princípio antrópico afirma que o universo foi projetado para permitir a vida.
- Princípio cosmológico** Princípio que afirma que nenhum local no universo tem preferência sobre qualquer outro, e que as características gerais do universo parecem ser as mesmas em todas as direções (*isotrópico*) e que não importa onde o observador está localizado (*homogêneo*).
- Princípio cosmológico perfeito** Extensão do *princípio cosmológico* que declara que o universo não é apenas *homogêneo* e *isotrópico*, mas também imutável ao longo do tempo. Tal princípio é a base para o *modelo do estado estacionário*.
- Próton** Partícula subatômica positivamente carregada encontrada no *núcleo* de um *átomo*.
- Quasar** Objeto intensamente brilhante, que parece uma *estrela* (“quase-estelar”), mas que agora se sabe tratar-se de uma *galáxia* jovem, extremamente brilhante,

que existiu no início do universo. Os quasares são observados hoje apenas nas regiões mais distantes do universo, já que a luz que nos chega desse universo distante começou sua jornada quando ele era muito mais jovem.

**RCFM** Ver *radiação cósmica de fundo em microondas*.

**Radiação de microondas** Porção do *espectro eletromagnético* com *comprimentos de onda* de alguns milímetros ou centímetros. Geralmente é considerada uma subdivisão das *ondas de rádio*.

**Radiação cósmica de fundo em microondas (RCFM)** Um “mar” universal de *radiação de microondas* emanando quase uniformemente de todas as direções do universo, e que data do momento da *recombinação*. Esta radiação é o “eco” do *Big Bang*, previsto por Gamow, Alpher e Herman em 1948, e detectado por Penzias e Wilson em 1965. Originária do calor do Big Bang, foi, desde então, esticada do *infravermelho* para os *comprimentos de onda* das microondas pela expansão do universo. O satélite *Cobe* mediu variações na RCFM.

**Radiação eletromagnética** Uma forma de energia viajante que inclui a *luz visível*, ondas de rádio e raios X. A *radiação eletromagnética* se move através do espaço na forma de *ondas eletromagnéticas* na velocidade da luz. O *comprimento de onda* de uma radiação determina suas qualidades.

**Radioastronomia** O estudo das *ondas de rádio* emitidas por objetos astronômicos, usando-se radiotelescópios em lugar de *telescópios ópticos*.

**Radioatividade** A tendência de certos *átomos* (por exemplo, o urânio) de sofrerem o *decaimento radioativo*.

**Radiogaláxia** Tipo de *galáxia* notável por sua forte emissão de *ondas de rádio*. A emissão de rádio deste tipo de galáxia é cerca de 1 milhão de vezes mais forte que a de uma galáxia normal, como a *Via Láctea*. Cerca de uma galáxia em um milhão cai nesta categoria.

**Radiotelescópio** Instrumento projetado para detectar *ondas de rádio* de fontes celestes. Os radiotelescópios são receptores de rádio muito sensíveis e têm a forma de uma antena ou um prato.

**Relatividade** Ver *teoria da relatividade geral* e *teoria da relatividade especial*.

**Recombinação** Momento em que o universo esfriou o suficiente para permitir que *elétrons* se ligassem aos *núcleos*, transformando a matéria de um *plasma* em *átomos* sem nenhuma carga elétrica. Isso ocorreu quando o universo tinha aproximadamente 300 mil anos de idade e uma temperatura em torno de 3.000° C. A partir desse momento, a *radiação eletromagnética* foi capaz de viajar através do universo quase desimpedida; hoje nós a detectamos como *radiação cósmica de fundo em microondas*.

**Seção transversal** Quantidade de partículas usada pelos físicos para determinar a probabilidade de duas partículas colidirem.

**Segundo** Unidade usada para a medição de ângulos muito pequenos, igual a  $1/60$  de um minuto ou  $1/3.600$  de um grau.

**Supernova** Explosão catastrófica de uma *estrela* que exauriu sua fonte combustível de *hidrogênio*. Elementos mais pesados, vitais para a vida, são gerados nos eventos que levam à supernova e durante a explosão.

**Teoria do átomo primordial** Primeira versão do *modelo do Big Bang* de Georges Lemaître, na qual todos os *átomos* do universo estavam, originalmente, contidos dentro de um compacto “átomo primordial”. A explosão do átomo primordial iniciou o universo.

**Teoria da relatividade especial** Teoria de Einstein baseada na premissa de que a *velocidade da luz* é a mesma para todos os observadores, a despeito de seus movimentos próprios. Sua consequência mais famosa é a equivalência de energia e matéria expressa pela equação  $E = mc^2$ . Também implica que a percepção do tempo e do espaço depende do observador. A teoria é um caso “especial” porque não lida com objetos que estejam acelerando ou experimentando a *gravidade*, para a qual Einstein mais tarde desenvolveu a *teoria da relatividade geral*.

**Teoria da relatividade geral** Teoria de Einstein para a *gravidade*, e que sustenta a ciência da *cosmologia*. A relatividade geral descreve a gravidade como uma curvatura num *espaço-tempo* quadridimensional.

**Triângulos semelhantes** Qualquer par de triângulos de mesma forma mas com tamanhos diferentes. Os dois triângulos têm em comum todos os três ângulos e a escala de suas bordas tem a mesma proporção.

**Ultravioleta (UV)** *Radiação eletromagnética* com *comprimento de onda* ligeiramente mais curto do que a *luz visível*.

**Velocidade da luz (c)** Constante igual a exatamente 299.792.458 m/s. De acordo com a *teoria especial da relatividade*, a velocidade da luz é a mesma para todos os observadores, independente de seu movimento próprio.

**Velocidade radial** Velocidade de uma *estrela* ou *galáxia* em direção à Terra ou para longe dela. Esse componente do movimento de uma estrela pode ser determinado pelo *efeito Doppler* da luz ou de outras *ondas eletromagnéticas* emitidas pela estrela ou pela galáxia.

**Via Láctea** Nome dado à *galáxia* na qual reside o nosso Sistema Solar. A Via Láctea é uma galáxia espiral contendo em torno de 200 bilhões de *estrelas*, e o Sol fica localizado em um de seus braços espirais.

## LEITURAS COMPLEMENTARES

Este livro tentou explicar um assunto vasto em uma quantidade relativamente pequena de espaço. Para os leitores que queiram explorar alguns dos tópicos com mais detalhes, esta lista de livros (e alguns artigos) pode interessar. Abrange desde livros de divulgação científica a textos mais técnicos, ordenados de acordo com os capítulos mais relacionados com seu conteúdo. Muitos deles foram usados na pesquisa e na produção de *Big Bang*, mas outros vão além da esfera deste livro, particularmente aqueles relacionados com o material do Epílogo.

### Capítulo 1

Allan Chapman, *Gods in the sky* (Channel 4 Books, 2002). O historiador da ciência de Oxford discute o desenvolvimento da astronomia antiga e sua sobreposição à religião e à mitologia.

Andrew Gregory, *Eureka!* (Icon, 2001). O desenvolvimento da ciência, matemática, engenharia e medicina na antiga Grécia.

Lucio Russo, *The forgotten revolution* (Springer-Verlag, 2004). Uma exploração da ascensão da ciência na antiga Grécia e uma discussão das razões por que terminou abruptamente e como veio a influenciar Copérnico, Kepler, Galileu e Newton.

Michael Hoskin (org.), *The Cambridge illustrated history of astronomy* (CUP, 1996). Uma excelente introdução à história da astronomia.

John North, *The Fontana history of astronomy and cosmology* (Fontana, 1994). Uma visão detalhada da história da astronomia, com ênfase em seu desenvolvimento como uma ciência desde os tempos antigos.

Arthur Koestler, *The Alupwalkers* (Arkana, 1989). Um relato sobre o desenvolvimento da cosmologia, da Grécia antiga até o século XVII.



- Kitty Ferguson, *The nobleman and his housedog* (Review, 2002). Um relato extremamente acessível da parceria entre Tycho Brahe e Johannes Kepler.
- Martin Gorst, *Aeons* (Fourth Estate, 2001). Uma história das tentativas do homem para medir a idade do universo, do bispo Ussher à lei de Hubble.
- Dava Sobel, *Galileo's daughter* (Fourth Estate, 2000). Um relato da vida de Galileu, que inclui cartas enviadas a ele por sua filha, que viveu em um convento desde a idade de 13 anos.
- Carl Sagan, *Cosmos* (Abacus, 1995). Livro baseado na famosa série de televisão, que deve ter inspirado muitas carreiras na astronomia.

## Capítulo 2

- James Gleick, *Isaac Newton* (Fourth Estate, 2003). Um relato conciso e acessível da vida de Isaac Newton.
- Hans Reichenbach, *From Copernicus to Einstein* (Dover, 1980). Uma história curta das idéias que contribuíram para a teoria da relatividade.
- David Bodanis, *E = mc<sup>2</sup>* (Walker, 2001). A biografia de uma equação, inspirada por Cameron Diaz, que uma vez perguntou se alguém poderia explicar o significado da famosa fórmula de Einstein.
- Clifford Will, *Was Einstein right?* (Basic Books, 1999). Um exame dos vários testes que foram aplicados às teorias de Einstein, incluindo as medições das anomalias na órbita de Mercúrio e a expedição do eclipse de Eddington.
- Jeremy Bernstein, *Albert Einstein and the frontiers of science* (OUP, 1998). Uma biografia popular com explicações claras do trabalho de Einstein.
- John Stachel, *Einstein's miraculous year* (Princeton University Press, 2001). Uma discussão moderadamente técnica dos trabalhos notáveis que estabeleceram a reputação de Einstein em 1905.
- Michio Kaku, *Einstein's cosmos* (Weidenfeld & Nicolson, 2004). Novo relato do trabalho de Einstein na relatividade especial e na relatividade geral, que também discute suas tentativas de unificar as leis da física.
- Russell Stannard, *The time and space of uncle Albert* (Faber & Faber, 1990). Tio Albert e sua sobrinha Gedanken exploram o mundo relativístico num livro voltado para jovens a partir da idade de 11 anos.
- Edwin A. Abbott, *Flatland* (Penguin Classics, 1999). Com o subtítulo de *A romance of many dimensions*, esse romance instigante e cheio de truques fornece uma visão útil de um universo multidimensional.

- Melvyn Bragg, *On giants' shoulders* (Sceptre, 1999). Um perfil de 12 dos maiores cientistas da história, incluindo vários que desempenharam um papel no desenvolvimento da cosmologia.
- Arthur Eddington, *The expanding universe* (CUP, 1988). Este ensaio atraente e popular sobre a hipótese do universo em expansão foi escrito em 1933, quando o conceito do Big Bang estava sendo desenvolvido.
- E. Tropp, V. Frenkel e A. Chernin, *Alexander A. Friedmann: The man who made the universe expand* (CUP, 1993). Biografia curta mas excelente de Friedmann, com enfoque em sua vida profissional. Inclui algumas explicações semitécnicas de suas idéias cosmológicas.

### Capítulo 3

- Richard Panek, *Seeing and believing* (Fourth Estate, 2000). História do telescópio e de como ele mudou nossa visão do universo.
- Kitty Ferguson, *Measuring the universe* (Walker, 2000). História das tentativas da humanidade para medir o cosmos, dos antigos gregos à moderna cosmologia.
- Alan Hirshfield, *Parallax* (Owl Books, 2002). Um relato popular e detalhado das tentativas heróicas para medir as distâncias das estrelas.
- Tom Standage, *The Neptune file* (Walker, 2000). A descoberta de Netuno não é relevante para as grandes questões da cosmologia, mas esse excelente livro cobre um período fascinante da história da astronomia.
- Michael Hoskin, *William Herschel and the construction of the heavens* (Oldbourne, 1963). Um relato do trabalho de William Herschel para elucidar a estrutura da Via Láctea, com alguns de seus artigos originais.
- Solon I. Bailey, *History and work of the Harvard Observatory 1839-1927* (McGraw Hill, 1931). Um relato interessante, e na maior parte não-técnico (ainda que um tanto árido), dos projetos de pesquisa realizados no Observatório do Harvard College, desde sua fundação até meados da década de 1920. Cobre o trabalho de Henrietta Leavitt e Annie Jump Canon, e explica as técnicas e os instrumentos que empregaram.
- Harry G. Lang, *Silence of the spheres* (Greenwood Press, 1994). Subintitulado *The deaf experience in the history of science* (A experiência dos surdos na história da ciência), este livro inclui seções sobre John Goodricke e Henrietta Leavitt.
- Edwin Powell Hubble, *The realm of the nebulae* (Yale University Press, 1982). Livro um tanto técnico, baseado nas Palestras Silliman proferidas por Hubble na Univer-

sidade de Yale. É um instantâneo interessante da cosmologia logo após as grandes descobertas de Hubble.

Gale E. Christianson, *Edwin Hubble: Mariner of the nebulae* (Institute of Physics Publishing, 1997). Biografia não-técnica e muito interessante de Edwin Hubble.

Michael J. Crowe, *Modern theories of the universe from Herschel to Hubble* (Dover, 1994). Boa mistura de história e ciência que inclui trechos dos trabalhos originais de astrônomos e cosmólogos.

W. Patrick McCray, *Giant Telescopes* (Harvard UP, 2004). História atualizada do desenvolvimento do telescópio depois da era de Edwin Hubble.

## Capítulo 4

Helge Kragh, *Cosmology and controversy* (Princeton University Press, 1999). Esse livro é um relato definitivo e em grande parte acessível de todo o debate Big Bang *versus* estado estacionário. O livro focaliza o desenvolvimento histórico do debate e as personalidades envolvidas, e toda a ciência relevante é claramente explicada ao longo do texto. Talvez seja o livro mais importante sobre o desenvolvimento do modelo do Big Bang.

F. Close, M. Marten e C. Sutton, *The particle odyssey: A journey to the heart of the matter* (OUP, 2004). Excelente guia para a história da física atômica, nuclear e subnuclear, incluindo suas ligações com a cosmologia.

Brian Cathcart, *The fly in the cathedral* (Viking, 2004). A história de Ernest Rutherford, seus protegidos e do Laboratório Cavendish. Relato popular de como os físicos transformaram nossa compreensão do núcleo atômico e dividiram o átomo.

George Gamow, *My world line* (Viking Press, 1970). A “autobiografia informal” de Gamow fornece uma agradável visão da vida de um dos físicos mais carismáticos do século XX.

George Gamow, *The new world of Mr. Tompkins* (CUP, 2001). Introdução encantadora e alegre ao estranho mundo da física quântica e relativística por um de seus maiores praticantes.

Joseph D’Agnese, “The last big bang man left standing”, *Discover* (julho de 1999, pp. 60-7). Artigo que deu a Ralph Alpher uma importante oportunidade para descrever seu papel no desenvolvimento do Big Bang para um público não-especializado.

- R. Alpher e R. Herman *Genesis of the Big Bang* (OUP, 2001). Relato excelente e não muito técnico sobre a origem do modelo do Big Bang e seu desenvolvimento até hoje.
- Iosif B. Khriplovich, “The eventful life of Fritz Houtermans”, *Physics Today* (julho de 1992, pp. 29-37). Artigo documentando a vida de Fritz Houtermans, escrito com afeição e ilustrado com boas fotografias.
- Fred Hoyle, *The nature of the universe* (Basil Blackwell, 1950). Baseado na série de programas de rádio da BBC que, inadvertidamente, batizou o modelo do Big Bang, esse livro dá uma visão geral da cosmologia em 1950.
- Fred Hoyle, *Home is where the wind blows* (University Science Books, 1994). Através de autobiografia com detalhes das numerosas realizações de Hoyle como matemático, pesquisador de radar, físico, cosmólogo e rebelde.
- Thomas Gold, *Getting the back off the watch and other episodes in the life of a scientist* (OUP, 2005). Thomas Gold tinha acabado de escrever suas memórias quando faleceu em 2004.

## Capítulo 5

- J. S. Hey, *The evolution of radio astronomy* (Science History Publications, 1973). Visão geral concisa do desenvolvimento da radioastronomia desde a época de Jansky até hoje, escrita por um de seus primeiros praticantes.
- Stanley Hey, *The secret man* (Care Press, 1992). Esboço biográfico.
- Nigel Henbest, “Radio days”, *New Scientist* (28 de outubro 2000, pp. 46-7). Interessante artigo sobre os primeiros tempos da radioastronomia e a contribuição de Stanley Hey para esse campo.
- Marcus Chown, *The magic furnace* (Vintage, 2000). Excelente relato de como os físicos e os cosmólogos explicaram o mistério da nucleossíntese.
- Jeremy Bernstein, *Three degrees above zero* (CUP, 1984). História da pesquisa científica realizada nos Laboratórios Bell, incluindo entrevistas com Arno Penzias e Robert Wilson.
- G. Smoot e K. Davidson, *Wrinkles in time* (Little Brown, 1993). A história do Cobe, pelo chefe da equipe do Radiômetro Diferencial de Microondas.
- John C. Mather, *The very first light* (Penguin, 1998). A história do Cobe pelo chefe da equipe do Espectrômetro Infravermelho Absoluto.
- M. D. Lemonick, *Echo of the Big Bang* (Princeton University Press, 2003). A história da radiação cósmica de fundo em microondas e do satélite WMAP.

F. Hoyle, G. R. Burbidge e J. V. Narlikar, *A different approach to cosmology* (CUP, 2000). Os autores, que permanecem céticos em relação ao modelo do Big Bang, apresentam seus argumentos e desafiam as interpretações das várias observações.

## Epílogo

Karl Popper, *The logic of scientific discovery* (Routledge, 2002). Publicado pela primeira vez em 1959, Popper apresenta uma visão acadêmica e revolucionária da filosofia da ciência.

Thomas S. Kuhn, *The structure of scientific revolutions* (University of Chicago Press, 1996). Publicado pela primeira vez em 1962, esta é a visão alternativa de Kuhn sobre a natureza do progresso científico.

Steve Fuller, *Kuhn vs Popper* (Icon, 2003). Reexame do debate Kuhn *versus* Popper sobre a filosofia da ciência que é mais acessível do que os trabalhos originais citados acima.

Lewis Wolpert, *The unnatural nature of science* (Faber & Faber, 1993). Discussão sobre o que é a ciência, o que pode fazer, o que não pode e como funciona.

Alan H. Guth, *The inflationary universe* (Vintage, 1998). O pai da teoria da inflação explica como esta surgiu e o que diz sobre o nosso universo.

F. Tipler e J. Barrow, *The anthropic cosmological principle* (OUP, 1996). Exploração da relação entre a existência do nosso universo e a existência de vida dentro dele.

Mario Livio, *The accelerating universe* (Wiley, 2000). Discussão sobre uma das descobertas mais importantes da cosmologia na década de 1990, ou seja, de que o universo parece estar se expandindo a uma taxa crescente.

Lee Smolin, *Three roads to quantum gravity* (Perseus, 2002). Discussão sobre o relacionamento entre as teorias da física quântica e da relatividade geral. Como essas teorias poderiam ser unificadas e quais as implicações para a cosmologia?

Brian Greene, *The elegant universe* (Random House, 2000). Um volume pesado mas excelente que explica a relatividade geral e a teoria das cordas.

Martin Rees, *Just six numbers* (Basic Books, 2001). O astrônomo real descreve como seis números, as constantes da natureza, definem as características do universo e pergunta por que esses números parecem ser perfeitos para a evolução da vida.

John Gribbin, *In search of the Big Bang* (Penguin Books, 1998). A história do Big Bang, a evolução do universo e a criação de galáxias, estrelas, planetas e vida, atualizada desde sua publicação inicial em 1986.

- Steven Weinberg, *The first three minutes* (Basic Books, 1994). Embora levemente desatualizado, este ainda é um dos melhores livros de divulgação sobre o Big Bang e os momentos iniciais do universo.
- Paul Davies, *The last three minutes* (Basic Books, 1997). Parte da série Science Masters, este livro examina o destino final do universo.
- Janna Levin, *How the universe got its spots* (Phoenix, 2003). Escrito como uma série de cartas para sua mãe, esse relato pessoal, e intensamente emocional, de Janna Levin fornece uma perspectiva única da cosmologia e do que é ser um cosmólogo.
- “Four keys to cosmology”, *Scientific American* (fevereiro 2004, pp. 30-63). Conjunto de quatro artigos excelentes que dá detalhes sobre as últimas medições da RCFM e de suas implicações para a cosmologia: “The cosmic symphony”, por Wayne Hu e Martin White, “Reading the blueprints of creation”, por Michael A. Strauss, “From slowdown to speedup”, por Adam G. Riess e Michael S. Turner, e “Out of the darkness”, por George Dvali.
- Stephen Hawking, *The universe in a nutshell* (Bantam, 2002). Livro ricamente ilustrado pelo mais famoso cosmólogo do mundo. Ganhou o prêmio Aventis 2002 para livros científicos e é muito mais compreensível do que *Uma breve história do tempo*, do mesmo autor.
- Guy Consolmagno, *Brother Astronomer* (Schaum, 2001). Como a religião e a ciência podem conviver, escrito por um astrônomo do Observatório do Vaticano.
- R. Brawer e A. Lightman, *Origins* (Harvard UP, 1990). Entrevista com 27 grandes cosmólogos, incluindo Hoyle, Sandage, Sciama, Rees, Dicke, Peebles, Hawking, Penrose, Weinberg e Guth.
- Andrew Liddle, *Introduction to modern cosmology* (Wiley, 2003). Livro didático que cobre todos os aspectos da cosmologia e serve como boa introdução para leitores com uma base moderada em ciência.
- Carl Gaither e Alma E. Cavazos-Gaither, *Astronomically speaking* (Institute of Physics, 2003). Excelente coletânea de citações sobre astronomia. Parte de uma série que inclui *Mathematically speaking*, *scientifically speaking* e *Chemically speaking*.

## AGRADECIMENTOS

Ao longo dos últimos dois anos, contei com a ajuda de muitas pessoas para escrever este livro. Sou imensamente grato a Ralph Alpher, Allan Sandage, Arno Penzias e ao falecido Thomas Gold, que encontraram tempo para me falar sobre suas contribuições ao desenvolvimento da cosmologia. Sua paciência e bondade foram muito apreciadas. Helge Kragh, na Universidade de Aarhus, e Ian Morrison, em Jodrell Bank, também deram muito apoio, assim como Nancy Wilson e Don Nicholson, no Observatório de Monte Wilson. Também pude visitar os Laboratórios Bell e gostaria de agradecer a todas as pessoas que me levaram para visitar as várias instalações, em especial Saswato Das.

Meus agradecimentos também vão para Arthur Miller, do University College (Londres), que me introduziu ao trabalho de Fritz Houtermans, e a Nigel Henbest, que me direcionou para as importantes contribuições de Stanley Hey. Pude entrevistar Arno Penzias e ouvir as gravações originais de Fred Hoyle para o Third Programme enquanto trabalhava nos programas da rádio BBC *The serendipity of science* e *Material world*. Sou muito grato aos produtores desses programas, Amanda Hargreaves, Monise Durrani e Andrew Luckbaker, que, sem querer, ajudaram a reacender meu interesse pela cosmologia.

Várias pessoas me deram opiniões valiosas sobre o manuscrito, à medida que era desenvolvido, incluindo Martin Rees e David Bodanis, que conseguiram encontrar tempo para me ajudar, ainda que estivessem muito ocupados com seus próprios projetos. Emma King, Alex Seeley, Amarendra Swarup e Mina Varsani também me ajudaram em vários estágios desse projeto, e sou grato a todos por suas contribuições. Em especial minha assistente, Debbie Pearson, ajudou-me a pesquisar várias partes deste livro, providenciando para que eu visitasse o Observatório de Radioastronomia de Mullard, em Cambridge, e localizando muitas das fotos deste livro.

Vários arquivos e bibliotecas são mencionados na seção de créditos das imagens, mas as seguintes pessoas e instituições foram além do dever em seus esforços para me ajudar: Peter D. Hingley (Sociedade Astronômica Real), Heather Lindsay (Emilio Segrè Visual Archives), Dan Lewis (The Huntington Library), John Grula (Observatórios da Carnegie Institution de Washington), Jonathan Harrison (St John's College Library), Iossif Khriplovitch (Universidade de Novosibirsk), Cheryl Dandridge (Arquivos do Observatório Lick), Lewis Wyman (Biblioteca do Congresso), Liliane Moens (Lemaître Archives, Universidade Católica de Louvain) e Mark Hurn, Sarah Bridle e Jochen Weller (Instituto de Astronomia da Universidade de Cambridge).

Gostaria de agradecer a Iolo ap Gwynn, do Laboratório de Bioimagem da Universidade de Gales, que criou especialmente as imagens do papel ampliado, mostradas na figura 98, e a Alison Doane, do Observatório do Harvard College, que mudou seus planos em cima da hora para me mostrar as pilhas de fotos que abrigam o trabalho de Henrietta Leavitt e suas colegas. Também pude incluir várias fotografias notáveis de Fred Hoyle neste livro e sou imensamente grato a Barbara Hoyle e ao Master and Fellows do St John's College pela permissão para usar essas imagens de sua coleção em Cambridge.

Muitos amigos e colegas me mantiveram alegre, acrescentando uma mistura de passatempos divertidos e interessantes a minha dieta diária de ler, aprender e escrever sobre cosmologia (o que já é um assunto bem interessante e divertido). Hugh Mason, Ravi Kapur, Sharon Herkes e Valerie Burke-Ward têm trabalhado comigo no desenvolvimento do UAS, projeto que estimula universitários a passar algum tempo nas escolas. O fato de estar envolvido nesse projeto me manteve continuamente consciente das várias questões relacionadas com a educação científica. Claire Ellis e Claire Greer têm me representado, dando *workshops* sobre quebra de códigos nas escolas e demonstrando a importância da matemática para os jovens. Foi o seu entusiasmo e trabalho duro que levaram o Projeto Enigma para dezenas de milhares de estudantes. Também gostaria de agradecer a Nick Mee, que transformou em realidade a idéia do *Livro dos códigos* em CD-ROM. Ele também me proporcionou vislumbres regulares do céu noturno através de seu telescópio, o que é sempre uma grande experiência.

Nos últimos dois anos, estive envolvido com o National Museum of Science and Industry, com o Science Media Center e com o National Endowment for Science, Technology and the Arts (Nesta), que expandiram o meu cérebro de várias maneiras. Obrigado a todos das três instituições, por aturarem minhas idéias e minha



interferência. Suzanne Stevenson merece um agradecimento especial, porque ela e suas colegas me ajudaram a manter o rumo, fornecendo apoio, encorajamento e conselhos constantes. Sem sua presença sólida eu não conseguiria desenvolver novas idéias e projetos.

Raj e Francesca Persaud fizeram um tremendo trabalho para me manter concentrado e com a sanidade intacta, enquanto Roger Highfield, Holly, Rory, Asha e Sachin me forneceram uma visão única dos museus e parques de Greenwich que sempre foi um refrescante ponto alto de minha semana. Richard Wiseman desempenhou um papel valioso em manter sob controle as minhas obsessões e também me introduziu às maravilhas da Bubble Magic pelo que sou verdadeiramente grato. Shyama Pereira fez todo o possível para me arrancar da minha escrivaninha, o que foi sempre necessário e muito apreciado. Também sou grato a minhas duas sobrinhas, Anna e Rachael, que continuam a agir como minhas inspetoras de moda e que têm conseguido erradicar a minha fixação por roupas de malha. Também sou grato a Rachael, por me fornecer a desculpa de que eu precisava para viajar até o sul da Índia, no ano passado, onde ela estava lecionando na Escola Teddy em Tirumangalam, e aproveitando ao máximo seu ano livre. Sei que os alunos, professores e equipe estão gratos a ela pelo seu entusiasmo e cabeça fria, e sei que ela aprendeu um bocado com aquela equipe devotada que está ajudando a transformar a comunidade local. Também sou grato a Fiona Burt, cujas palavras amigáveis de apoio foram muito apreciadas nos últimos dois anos.

Enquanto escrevia o *Big Bang*, recebi um apoio considerável para transformar meu manuscrito num livro de verdade. Raymond Turvey fez todas as ilustrações e Terence Caven foi o responsável pelo projeto gráfico geral e o leiaute do livro. John Woodruff, que também esteve envolvido com *O livro dos códigos*, desempenhou um papel central ao transformar um rascunho bruto num manuscrito polido. De fato, ele tem cumprido uma função nos bastidores, corrigindo e editando dúzias de livros científicos nos últimos vinte anos. É um dos heróis anônimos da literatura científica.

Christopher Potter tem sido uma influência importante desde que comecei a escrever, e fiquei feliz que pudesse participar do desenvolvimento do *Big Bang*. Mitzi Angel foi minha nova editora e tem sido absolutamente brilhante como conselheira. Também gostaria de agradecer aos meus editores no exterior, da Itália ao Japão, da França ao Brasil, da Suécia a Israel e da Alemanha à Grécia, que continuam a apoiar o meu trabalho através do mundo. Por sua vez, eles trabalham com alguns dos melhores tradutores do mundo, que aceitam o desafio de traduzir um livro que contém ao mesmo tempo prosa narrativa e explicação científica. Existem muito poucos tra-

dutores capazes de trabalhar nessa área editorial tão especializada e eu sou grato àqueles que tornam meus livros acessíveis além dos países de língua inglesa.

Finalmente, a todos na Conville & Walsh Literary que foram profissionais e encantadores durante todo o trabalho com este livro, ainda que, tenho certeza, eu seja um dos seus autores mais desajeitados. Em especial a Patrick Walsh, que tem sido meu agente literário desde que comecei a escrever, há quase uma década, e que trabalha incansavelmente para mim. Ele me fornece comentários francos sobre o meu trabalho e está sempre presente em tempos de crise. Não imagino que existam muitos agentes literários capazes de acompanhar seus autores até Zâmbia para ver um eclipse do Sol. Resumindo, Patrick tem sido o melhor amigo que um autor poderia desejar.

Simon Singh  
Londres  
Junho de 2004

## CRÉDITOS DAS IMAGENS

Ilustrações por Raymond Turvey. Todas as outras imagens neste livro foram obtidas por cortesia das seguintes fontes:

Figuras 10, 12	Sociedade Astronômica Real
Figuras 15,16	Sociedade Astronômica Real
Figura 18	(Copérnico) AIP Emilio Segrè Visual Archives, T. J. J. See Collection
Figura 18	(Tycho) Sociedade Astronômica Real
Figura 18	(Kepler) Institute of Astronomy, University of Cambridge
Figura 18	(Galileu) AIP Emilio Segrè Visual Archives, R. Galleria Uffizi
Figura 21	Getty Images (Hulton Archives)
Figura 28	Institute of Astronomy, University of Cambridge
Figura 29	AIP Emilio Segrè Visual Archives, Soviet Physics Uspekhi
Figura 31	Archives Lemaître, Université Catholique de Louvain.
Figura 32	Royal Astronomical Society
Figura 33	Institute of Astronomy, University of Cambridge
Figura 35	Owen Gingerich, Harvard University
Figuras 36, 37	The Birr Castle Archives e Father Browne Collection
Figura 37	Julia Muir, Glasgow University
Figura 38	Edwin Hubble Papers, Huntington Library
Figura 39	(Curtis) The Mary Lea Shane Archives/ Lick Observatory
Figura 39	(Shapley) Harvard College Observatory
Figura 42	Julia Margaret Cameron Trust
Figura 42	Sociedade Astronômica Real
Figuras 43, 44	Harvard College Observatory

- Figuras 46-48 Edwin Hubble Papers, Huntington Library
- Figura 49 Observatories of the Carnegie Institution of Washington
- Figura 50 Julia Muir, Glasgow University
- Figura 56 Sociedade Astronômica Real
- Figura 57 (1950) Palomar Digital Sky Survey
- Figura 57 (1977) Jack Schmidling, Marengo, Illinois
- Figura 63 Astronomical Society of the Pacific
- Figura 65 Brown Brothers
- Figura 67 Cavendish Laboratory, University of Cambridge
- Figura 74 Library of Congress
- Figura 75 Cavendish Laboratory, University of Cambridge &  
AIP Emilio Segrè Visual Archives
- Figura 76 AIP Emilio Segrè Visual Archives, Institut International  
Physique Solvay
- Figura 77 Herb Block Foundation
- Figura 78 George Gamow, *The creation of the universe*
- Figura 82 Ralph Alpher
- Figuras 83, 84 St John's College Library, Cambridge
- Figura 86 St John's College Library, Cambridge
- Figura 87 AIP Emilio Segrè Visual Archives, Institut International  
Physique Solvay
- Figura 91 Lucent Technologies Inc/ Bell Labs
- Figura 93 Mirror Group News
- Figura 95 Lucent Technologies Inc/ Bell Labs
- Figura 96 Smithsonian National Air and Space Museum
- Figura 97 St John's College Library, Cambridge
- Figura 98 University of Wales Bio-Imaging Laboratory
- Figura 100 Nasa (grupo Cobe)
- Figura 101 Nasa (grupo DMR)
- Figura 102 Jornal *The Independent*, 24 de abril de 1992
- Figura 103 Nasa (grupo WMAP)

# ÍNDICE

Números de páginas em *itálico* se referem a figuras

- Abell, George O. 372  
Absorção 222, 223, 224, 231, 232, 245  
Abundância atômica 287, 290, 343, 360,  
    Tabela 4, 6; hidrogênio/hélio 267-269,  
    299, 303, 307, 369  
Abundâncias, *ver* abundância atômica  
Academia Nacional de Ciências, EUA 181,  
    196  
Academia Pontífice de Ciências 335, 337  
Accademia del Cimento 90  
Afonso VI, rei da Espanha 40  
Afonso X, rei de Castela e Leão 43, 79  
Agostinho, santo 456-457  
Aikman, Duncan 261  
Alexandria 20, 21, 22  
Algol 186, 188, 188, 190  
Al-Haythan (Alhazen) 90  
Alpher, Ralph 314, 437, 439, 446; Previ-  
    são da RCFM 312, 399, 402-405,  
    422, 438; Trabalho Alfa-Beta-Gama  
    299, 302, 308, 310, 403; Trabalho  
    sobre nucleossíntese 296-303, 306,  
    363, 369, 405; trabalho sobre recom-  
    binação 306-315, 398  
American Physical Society 426  
American Telephone and Telegraph  
    (AT&T) 374, 395; *ver também*  
    Laboratórios Bell  
Anaxágoras 22, 24, 186  
Anaximandro 6, 7, 79  
Andrômeda (Galáxia/Nebulosa) 171,  
    172, 213; Efeito Doppler 234; me-  
    dições de distância por Hubble 212-  
    214, 348-351; nova em 182-184,  
    210, 212  
*Annalen der Physik* 107  
*Annales de la Société Scientifique de*  
    *Bruxelles* 154  
Ano-luz 169  
Árabes 39-40, 43  
Arcturus 227  
Aristarco 22, 24, 26, 25; universo centrado  
    no Sol 30-33, 31, 39, 44, 47, 50, 52  
Aristóteles 35, 41, 65, 90  
Arquimedes 30  
Associação Americana para o Progresso da  
    Ciência 215  
Asteróides 141, 444  
*Astrophysical Journal* 400, 402, 426  
Atkinson, Robert d'Escourt 282-284

- Átomo 107, 268-277, 281; comprimentos de onda 221-223, 222, 390; estabilidade 280, 281-282, 292, 304, 363; estrutura 275-278, 277; formação do, *ver* Nucleossíntese; modelo nuclear 277-278, 277, 279, 281, 342; modelo do pudim de ameixas 272, 273, 275, 279; primordial 153, 255, 261, 264, 290; tamanho 276-278; átomo primordial 153, 255, 261, 264, 290
- Ault, Warren 206
- Auteroche, Jean d' 133
- Autopropagação 341
- Avicena, *ver* Ibn Sina
- Baade, Walter 347-354, 355, 357, 385, 386
- abilônios 26, 35, 80
- Bailey, Solon 197
- Ball, Robert: *The story of the Heavens* 186
- Barberini, Francesco 77
- BBC 328, 329
- Belarmine, cardeal 77
- Bell, Jocelyn 161-162, 372
- Berílio 365, 364, 368
- Bessel, Friedrich Willhelm 167-170, 169, 186
- Betelgeuse 226
- Bethe, Hans 285-287, 292, 299, 302
- Big Bang, modelo do 13-14, 162, 240, 254-256, 315; aceitação do 406, 428; crítica do 262-267, 303, 313, 315-316, 319, 339, 352, 425, 446; evidência observacional 239, 241, 244, 257, 303, 399-406, 426; implicações filosóficas 450-452; método científico no 435-437; múltiplos 454-455; nome do 329, 448; o que havia antes do 452-456; precursores do 147-148, 153-155; *versus* estado estacionário, 324, 325-326, 335, 339-347, 385-392, 399, 400, 406, 408, Tabela 4, 6
- Big Crunch 445, 455
- Bohr, Niels 456
- bomba atômica 292, 298
- Bond, William Cranch 194
- Bondi, Hermann 318-319, 323-327, 327, 357, 388, 391, 406
- Bonner, William 337
- Born, Max 139, 318
- Boro 369
- Brahe, Tycho 52-57, 58, 59, 75, 91, 118; *De mundi aetherei* 55, 56; modelo do universo 55-56, 55
- Braidwood, Thomas 187
- Bronstein, Matvei 339
- Bruno, Giordano 45-46; *Do universo infinito e dos mundos* 46
- Bunsen, Robert 223-225
- Buracos negros 132, 141, 444
- Burbidge, Geoffrey 370, 407
- Burbidge, Margaret 370
- Burke, Bernard 399
- Buys-Ballot, Christoph 230
- Cambridge 132, 383, 384, 386
- Campo de criação (*C-field*) 325
- Câncer, Trópico de 20, 28
- Cannon, Annie Jump 196
- Caos 306
- Capra, Frank 246
- Carbono 285-287, 290; estado excitado do 365-367; formação 363-367, 364, 366, 368-369
- Carnegie, Andrew 180, 373
- Cassini, Giovanni Domenico 91, 93
- Cefeidas, estrelas variáveis 190-192, 197-201, 200, 211-214, 212; escala de dis-

- tâncias 202, 213, 350-351, 354; magnitude 200; populações 350-351
- Centralidade, ilusão de 257
- Centro universal 19, 32, 44, 118
- Chadwick, James 278, 284, 293
- Chandrasekhar, Subrahmanyan 354
- Chown, Marcus 362, 423
- Churchill, Winston 380
- Ciência 16, 26-28, 64, 79, 207, 267, 459-462; complacência na 352; experimental/observacional 161, 254, 257; medições 354; método científico 62, 435-436 popular 313, 328-329, 335; progresso científico 75, 78, 122, 124, 342; soviética 288, 339; testes 66-67, 127, 162; teórica 18, 122, 125, 127, 145, 257, 342, 384, 407
- Clerke, Agnes 184
- Cleveland, Lemuel 215
- Cobe (Cosmic Background Explorer) 420-429, 424, 427, 437-438, 446
- Cockcroft, John 291
- Cometas 143, 163, 173
- Comprimentos de onda 377-378, 378, 384; atômico 221, 222, 224, 390; das ondas de luz 217-221, 218, 220, 224; das ondas de rádio 374; da radiação RCFM 312, 399, 401, 406, 414-420, 424, 425
- Computadores 306
- Comte, August 217, 225
- constante cosmológica 144-145, 147-148, 155, 259
- Copérnico, Nicolau 43-52, 75, 127, 342, 373, 450; *Commentariolus* 43-45; *De revolutionibus* 47-50, 48, 52, 54, 58, 67, 74; erros expostos 58-59; fases planetárias previstas 66-70; universo centrado no Sol 44, 47, 167
- Cor 217-223, 218
- Coulson, Charles 449
- Criação 173, 247, 261, 268, 453-454, Tabela 4, 6; contínua 323, 325, 339; data da 79-80; momento da 153, 240, 241, 255-256, 266, 322, 352, 387, 407
- Cristiano IV, rei da Dinamarca 56
- Curie, Marie e Pierre 269-271, 280-281, 293
- Curtis, Heber 182, 183, 184-185, 213, 215
- Daguerre, Louis 192
- Darwin, Charles 13, 80, 327
- Davis, Elmer 336
- Davisson, Clinton J. 374
- Dead of Night* 319-322
- Deferentes 37, 38, 39, 50, 122, 342
- Delta do Cefeu 189, 190
- Densidade cósmica 216
- Desvio para o vermelho 231, 232, 312, 388; galáctico 235, 239-240, 245, 255-256, 258, 262-264, 266, 351, Tabela 4,6
- Deus 79, 82, 143, 173, 336, 428, 449, 452, 454
- Deuses 16, 24, 26
- Dia sideral 376
- Dicke, Robert 400, 402-403, 455
- Dificuldade com a escala de tempo 346-354, 358
- Dirac, Paul 318
- Doppler, Christian 228, 230, 231
- Draper, John e Henry 194
- Dryden, John 117
- Dyson, Frank 132
- Dyson, Freeman 451

- Eclipses 189-190; lunar 19, 22, 23; solar 26, 28, 75, 130-131, 132-133, 135-138, 137
- Eddington, Arthur 132-138, 140, 152, 318, 439; e Lemaître 254-255, 264; observações do eclipse solar 132, 134-137, 139-140; sobre a teoria da luz cansada 264; sobre o universo oscilante 455; *Espaço, tempo e gravidade* 135; teoria da nucleossíntese 358; teoria do universo em expansão 255-256, 264-267; *A teoria matemática da relatividade* 133
- Efeito Doppler 228-235, 229, 340, 419; *ver também* desvio para o vermelho
- Efeito fotoelétrico 107
- Egípcios 26-27, 35
- Ehrenfest, Paul 121
- Einstein, Albert 32, 105-107, 108, 140, 182, 190; e o Big Bang 155, 259, 346; constância da velocidade da luz 103-105, 107; constante cosmológica 144-145, 147-148, 155, 259; cosmologia 141-145, 161, 258; e a curvatura da luz 128-131, 137-139; e Friedmann 150-151; e Lemaître 154, 258-261, 260; espaço-tempo 119, 120, 121; experiência mental com o éter 99-103, 105, 106; fórmula  $E = mc^2$  281, 283; modelo do universo eterno e estático 142-144, 155, 259; relatividade especial 107-115, 281; relatividade geral 115-134, 140-145, 148, 258, 323, 436; Elementos: formação, *ver* nucleossíntese; pesados 290-291, 303-306, 308, 358-362, 369, Tabela 5; radioativos 269; *ver também* abundâncias atômicas
- Elétrons 275-278, 277, 281, 295, 308, 437
- Elipses 59-62, 60, 63, 118
- Energia escura 446, 447
- Epíclis e deferentes 37, 38, 39, 50, 63, 69, 70, 122, 342
- Eratóstenes 20-25, 21, 27, 28, 170, 186
- Espaço 89, 99, 119, 271, 437, 442, 454; esticamento do 255-257, 256
- Espaço-tempo 119-122, 120, 128, 129, 129, 142-143
- Espectro eletromagnético 378, 378
- Espectroscopia 222-225; absorção 222-223, 223, 224, 231, 232, 236, composição estelar 222-225; velocidades de afastamento 226, 228, 231-233, 351, 445
- Espectroscópio 217, 224, 225, 233, 238
- Estado estacionário, modelo do: desenvolvimento 319-325; modelo do estado quase estacionário 407, 448; e as galáxias jovens 326; e a nucleossíntese 369; perda de credibilidade 388-391, 405-408; e as radiogaláxias 385-391; *versus* Big Bang 324, 326-329, 335, 339-340, 342-346, 369, 387, 399, 400, 408, 415, 425, Tabela 4, 6
- Estrela de Barnard 228
- Estrela do Norte, *ver* Polaris
- estrelas 16, 24, 33; catálogos 194-197; ciclo de vida 359-360; classificação 196; composição 219, 222, 225, 234; comprimentos de onda da luz estelar 219, 220; desvio estelar 128-129, 129, 130, 136; cor 219; distâncias 166-170, 169, 186, 202; emissões de rádio 381; espectroscopia estelar 223-25; estado de equilíbrio 191, 359; fusão estelar 284-285, 287, 291; idade das 346, 352; jovens 171, 174 magnitude (brilho) 199-202, 200,



- 354-355; morte das 360-361, 438;  
movimento próprio 227-228, 228,  
233; nascimento das 184, 343, 438;  
paralaxe estelar 33, 34, 44, 130, 168,  
171, Tabela 2, 3; populações 342; Se-  
gunda-/terceira-gerações 363; tempe-  
ratura 219, 220; velocidade radial  
227-228, 232-233, 232, 234
- Estrelas binárias 141, 189-190
- Estrelas de nêutrons 162, 264
- Estrelas variáveis 186-190, 188, 189;  
cefeidas 190-191, 197-203, 200, 212-  
214; RR Lyrae 348-349, 351
- Eta da Águia 190
- Éter 94-99, 97, 102-103, 138-139, 141,  
288
- evolução 80, 153, 244-246, 327, 336
- Fabricius, David 63
- Ferdinando II, rei da Boêmia 76
- Ferdinando, arquiduque de Graz 56
- Fermi, Enrico 307, 354
- Fernie, Donald 352
- Filolau de Crotona 30
- Física atômica 269, 281
- Física dos raios cósmicos 153
- Física nuclear 253, 278, 281-282, 287,  
298, 312
- Física quântica 107, 253, 373, 455-456
- Fissão nuclear 280-282, 280
- Fleming, Alexander 380
- Fleming, Williamina 195, 195, 196, 348
- Fotografia 192-194, 197, 234, 348
- Fowler, Willy 367-268, 370, 394
- Francisco Ferdinand, arquiduque 131
- Fraunhofer, Joseph von 223
- Frederico Guilherme III, rei da Prússia 167
- Frederico II, rei da Dinamarca 54, 56
- Frederiks, Vsevolod 339
- Freundlich, Erwin 128, 130
- Friedmann, Aleksandr 146, 161, 288;  
modelo de universo em expansão 145-  
151, 236, 246; precursor do Big Bang  
240, 244, 255, 258, 338, 436, 455
- Fry, Art 379
- Fusão nuclear 280-284, 291-292, 308
- Galáxia do Sombrero 235
- Galáxias 217, Tabela 4, 6; anãs 214; como  
nebulosas 173-174, 176, 184, 208,  
214; desvios para o vermelho 235,  
238, 245, 246, 256, 258, 262-264,  
266; distâncias 214, 216, 346-347,  
350-352, 354-356; expansão 257;  
formação 343, 410-414, 418, 418,  
423-428, 438, 442-443, 445; gravi-  
dade 263; idade das 352; jovens 326,  
343, 385-387; lei de Hubble 242; no  
universo do estado estacionário 323,  
324, 325; radiogaláxias 376, 379,  
385-390, 394; teoria da galáxia única  
182, 183, 208; velocidade de afasta-  
mento 234-237, 239-246, 239, 245,  
254, 256-258, 262, 340, 347, 351
- Galileu, Galilei 64-78, 75, 127, 237, 342,  
373; *Diálogo sobre os dois sistemas do  
Mundo* 76-78, 100; Igreja e 76-78,  
337, 449; medições da velocidade da  
luz 90; observações astronômicas 66-  
71, 67, 68, 70; princípio da relati-  
vidade 100-102, 105, 109-110, 141;  
telescópio 64, 65-66, 165, 193
- Gamow, George 289, 291, 293, 341, 315,  
339, 358, 437, 438; artigo Alfa-Beta-  
Gama 299, 302-303, 306, 310, 403;  
ciência popular 313, 328, 335, 337;  
correspondência com o papa 336;  
*Creation of the universe* 336, 453;

- críticos de 303-304, 310; humor 299, 305, 313, 326, 370, 371, 387, 389, 390; trabalho sobre nucleossíntese 287-302, 306, 307, 363, 369; trabalho sobre a RCFM 399, 403-405, 438
- Gauss, Carl Friedrich 437
- Geiger, Hans 273-275, 274, 279
- Geologia 81, 262
- Gerard de Cremona 40, 41
- Giese, Canon 47
- Gold, Thomas 326, 327, 337, 357; sobre as radiogaláxias 384-385, 388; sobre o modelo do estado estacionário 318-325, 391, 407
- Goodricke, John 187-190, 191
- Grande Debate 181-185, 190, 191, 196, 203, 208, 211-213
- Gravidade 32-33, 63, 71, 89, 191, 452, Tabela 3; antigravidade 144, 259; e a relatividade geral 116, 118-131, 134, 141-142; extrema 122-125, 128, 141; galáctica 263, 410; modelo grego 19-20, 32; newtoniana 117-118, 121-126, 134, 141
- Gregos, antigos 15-16, 27, 40-43, 82, 186; medições 18-25, 28; nebulosas 171; sobre a composição das estrelas 225; sobre as órbitas planetárias 35-39; teoria da luz e som 89-90; visão de mundo 30-33
- Grossman, Marcel 121
- Grote, Harriet 204
- Guericke, Otto von 94
- Guerra Mundial, Primeira 131-133, 146-147, 151, 207
- Guerra Mundial, Segunda 347, 380-381
- Guth, Alan 442, 444, 456
- Haldane, J. B. S. 445
- Hale, George Ellery 177-181, 180, 207, 348-349
- Hale, William 178
- Halley, Edmund 227
- Harwit, Martin 388
- Hauser, Mike 420
- Hawking, Stephen 341, 428
- Hélio 225, 234; abundância 268-269, 290, 299, 306, 307, 310, 369, 438, 439; átomo 276, 277, 279, 302; formação 292, 298, 300, 306, 438, 450; fusão nuclear 282-287, 286, 292; transformado em carbono 362-366, 364, 368; transição do plasma para átomos 308, 310, 311
- Henry, Paul e Prosper 194
- Heráclides do Ponto 30
- Heráclito de Éfeso 82
- Herman, Robert 314, 369, 437, 439, 446; previsão da RCFM 310, 312, 402-404, 422, 438; trabalho em recombinação 306-315
- Heródoto 19
- Herschel, Caroline 163
- Herschel, *sir* John 170, 192, 193
- Herschel, William 163-167, 164, 165, 170-174, 186, 188, 373
- Hertzsprung, Ejnar 202
- Hess, Viktor 153
- Hey, Stanley 380-381, 382
- Hiades 132
- Hidrogênio 234; abundância 267-269, 290, 298, 303, 306, 307, 343, 438, 439; átomo 276-278, 277, 280, 302; fusão em hélio 282-287, 286, 290, 369; no Big Bang 291, 300; nuvens intergalácticas 393; transição do plasma para átomos 310, 311

- Hoffmann, Banesh 98  
Hoffmann, Roald e Djerassi, Carl: *Oxigênio*, 436  
Hooke, Robert 117  
Hooker, John 180, 373  
Houtermans, Fritz 282-285, 291  
Hoyle, Fred 315-329, 317, 320, 339, 352, 357, 394, 404; ciência popular 328-329, 335; colaboração com Bondi e Gold 318-323; e Ryle 384, 386-387, 389; nome do Big Bang 329, 448; *The nature of the universe* 328; trabalho em nucleossíntese 359, 371, 372, 436, Tabela 5; e o universo do estado estacionário 322-326, 327, 337, 391, 405-408, 448  
Hubble, Edwin Powell 205, 219, 259, 336, 347, 437; cálculo da distância das galáxias 203-217, 212, 240, 346-347; constante de Hubble 242-244; erro na distância 351-354; lei de Hubble 242, 244, 258, 390; observações do desvio para o vermelho 235-247, 245, 256, 262-263, 266, 315  
Huggins, Margaret 226, 226  
Huggins, William 225-226, 226, 227, 232-233  
Humason, Milton 237-239, 244-246, 245, 258, 263  
Hutton, James 82  
Huxley, Thomas 18  
Ibn Sina 90  
Igreja Católica 45, 47, 49, 62, 73, 74 77-78, 449; apóia o Big Bang 336-338, 339; Inquisição 45, 74, 76-77; livros banidos 74, 77  
*Independent* 437, 440-441  
Inflação 442-444, 447, 452  
Infravermelho 217, 220, 378  
Instituto Carnegie 179  
Instituto de Tecnologia da Califórnia 257, 263, 367, 394  
Instituto de Tecnologia de Massachusetts 152, 296  
Interferência 96  
Interferometria 383  
Io 91-92, 92  
Isótopos 276, 277, 284, 285, 286, 372  
Jansky, Karl 374-377, 375, 391, 401  
Janssen, Jules 225  
Jastrow, Robert 401, 454  
Jdanov, Andrei 338  
João Paulo II, papa 449  
João XII, papa 50  
Jodrell Bank 381  
Johnson, Samuel 187  
Joliot, Irene 293  
Joly, John 81  
Jorge I, rei da Inglaterra 163  
Jorge III, rei da Inglaterra 163, 165, 373  
Júpiter 35, 128, 129; luas de 66-67, 68, 73, 93, 92, Tabela 3  
Kant, Immanuel 173, 174, 176  
Kelvin, William Thomson, lorde 81, 95  
Kepler, Johannes 56-64, 65, 66, 75, 127, 342, 373; *Astronomia nova* 62; leis do movimento planetário 59-61, 61, 118, 122; *Mysterium cosmographicum* 58; sobre a data da criação 79; sobre a música das esferas 63; universo centrado no Sol 58-59, 66-67  
Khriplovitch, Iossif 284  
Kirchhoff, Gustav 225  
Koestler, Arthur 39  
Kozirev, Nikolai 338  
Kuhn, Thomas S. 342

- La Roux, Émile 401  
 Laboratório Cavendish 272  
 Laboratório Nacional Argonne 298  
 Laboratórios Bell 374, 378, 392, 394, 400;  
     radiotelescópio com antena corneta  
     394-398, 396, 405, 406  
 Langevin, Paul 293  
 Larsen, Jakob 206  
 Laslett, Peter 329  
 Laughton, Charles 349  
 Le Gentil, Guillaume 134  
 Le Verrier, Urbain 123  
 Leavitt, Henrietta 196-203, 198, 200, 211,  
     213, 214, 350  
 Lemaître, Georges 152, 161, 236, 337,  
     357; e Eddington 254, 264; e Einstein  
     258, 259-261, 260; *Hypothèse de*  
*l'atome primitif* 154; nucleossíntese  
     290 precursor da teoria do Big Bang  
     151-155, 240, 242, 262, 290, 402,  
     437  
 Leslie, John 451  
 Libri, Giulio 73  
 Lippershey, Hans 65  
 Lítio 369  
 Lockyer, *sir* Norman 225  
 Lodge, Oliver 138  
 Lorentz, Hendrik 138  
 Lov, V. E. 339  
 Lovell, Bernard 381  
 Lowell, Percival 234  
 Lua 16, 17, 28, 66, 67, 194, Tabela 3; eclip-  
     se lunar 19, 22, 23; medições 22, 23,  
     24, 28, Tabela 1; meia fase 24-25, 25  
 Luís XV, rei da França 171  
 Lutero, Martinho 46  
 Luz: curvatura da 128-129, 129, 130, 132,  
     134-138, 137; desvios Doppler 231-  
     233, 232, 255; mar primordial de 295,  
     308, 336, 398, 438; na recombinação  
     310, 311; natureza da 217; paradoxo  
     de Olber 408; remanescente 310; teo-  
     ria da luz cansada 263-264; transmis-  
     são da 93-94, 98, 102; *ver também*  
     espectroscopia; velocidade da luz.  
 Lyell, Charles 82  
 Marié, Mileva 106  
 Marsden, Ernest 273-275, 274, 279  
 Marte 35, 36, 37, 38, 58-59, 62  
*Massive compact halo objects* 444  
 Matemática 17, 100, 146, 437  
 Matéria escura 264, 444, 446, 447  
 Matéria, estados da 306, 308, 309  
 Mather, John 420, 423  
 Matthias, Berndt 18  
 McVittie, George 254  
 Melvill, Thomas 221  
 Mendeleiev, Dmitri 189, 271  
 Mercúrio 35, 123; fases 67, 69; órbita 123-  
     126, 124, 127, 142  
 Messier, Charles 171, 172, 176  
 Mestral, George de 379  
 Meteoros 381  
 Michelson, Albert 95-99, 97, 101, 103,  
     204, 253  
 Michelson-Morley, experiência 95-98, 97,  
     101, 103  
 Microondas 217, 219, 312, 374, 399, 401,  
     415  
 Millikan, Robert 204-206, 263  
 Milne, Arthur 262  
 Minkowski, Hermann 105  
 Mito 14-16, 26, 82, 435, 454  
 Mito da criação 14-16  
 Mittag-Leffler, Gösta 202  
 Modelo do estado quase estacionário 407,  
     446

- Morley, Edward 98, 101, 102, 103  
 Moseley, Harry 131  
 Movimento browniano 107  
 Movimento próprio 227-228, 228, 233  
 Movimento retrógrado 35, 37, 36, 44, Tabela 2, 3  
 Mudanças de paradigma 342, 436  
 Multiverso 452, 456  
 Museu Nacional do Ar e do Espaço do Smithsonian Institute 405, 406  
 Música das esferas 16-18, 63
- Narlikar, Jayant 407, 409  
 Nasa 420-421  
*Nature* 254, 327  
 Nebulosa do Redemoinho (M51) 176, 177  
 Nebulosas 171-174, 176, 207; catálogo De Messier 171, 172, 176; como Galáxias 213, 214; distâncias 196, 212; espiral 176, 177; Grande Debate sobre 181-185, 190, 208, 211-214; medições de velocidade 235  
 Nêutrons 276-280, 281, 284, 286, 295, 297, 307, 438  
 Newton, Isaac 116-118, 143, 373; teoria da gravidade 117-118, 122, 123-126, 134, 141  
 Nicolau de Cusa 43  
 Notação exponencial Tabela 1  
 Novara, Domenico Maria de 44  
 Novas 184, 186, 210, 212, 214, 244  
 núcleo 275-278, 277, 280, 281, 290; 5-núcleons 303-305, 306; excitado 365-368; força nuclear forte 285, 450  
 Nucleossíntese 405, 438; Big Bang 290-298, 302, 303, 358, 369; corrente de 362 Tabela 5; elementos pesados 303-308, 358-370, 438, 450; estelar 358-363, 370
- Número atômico 276, 277  
 Nuvem alto-cúmulo lenticular 322
- O'Connell, Daniel 338  
 Observatório de Monte Palomar 348, 384  
 Observatório de Monte Wilson 181, 257-259, 263, 348; Baade e Sandage em 347, 354; Hubble em 207-210, 209, 214, 235-238; seminário em Pasadena (1933) 259-261, 260; telescópios 179-181, 209, 211, 257, 347, 348  
 Observatório de Potsdam 132  
 Observatório de Princeton 193, 215  
 Observatório do Harvard College 152, 194, 197, 208, 348  
 Observatório Lick 178, 182  
 Observatório Lowell 234, 237  
 Observatório Mullard 386  
 Observatório Yerkes 179, 207  
 Occam, William de 50; navalha de Occam 51  
 Olbers, Wilhelm 170; paradoxo de Olber 408  
 Ondas de rádio 381-385, 399; ruído 395-401, 427  
 Oresme, Nicole d' 43  
 Osiander, Andreas 46, 49
- Paralaxe 33, 34, 167, 176, 202  
 Parker, George 205  
 Parsberg, Manderup 52  
 Partículas alfa 271-275, 274, 278, 279, 280, 281  
 Partículas maciças de interação fraca 444  
 Pasteur, Louis 380  
 Pauli, Wolfgang 272  
 Payne, Cecilia 138  
 Peebles, James 400, 402-403, 444  
 Peierls, Rudolf 318

- Penrose, Roger 341
- Penzias, Arno 392-405, 396, 437, 438
- Pequena Nuvem de Magalhães 199, 200, 214
- Perfeição circular 37, 62, 63
- Petreijs, Johannes 46
- Physical Review* 299, 336
- Pickering, Edward 194, 195
- Pigott, Edward 186-187, 190, 191
- Pigott, Nathaniel 190
- Pio XII, papa 336-37, 449
- Pitágoras 16-18, 63
- Planck, Max 78, 114, 122
- Planetas 444; Copérnico e os 44, 48, 58-59; descoberta dos 163; distante 45-46, 171-172; fases 66-69, 70; gregos e os 17, 35; leis de Kepler do movimento dos 58-62, 61; modelo Ptolomaico 37-40, 38, 43; movimento retrógrado 35, 36, 37, 44, Tabela 2, 3; órbitas 54, 55, 59-62, 61, 118, 122, 342; variações de velocidade 59, 61, 61
- Plasma 308, 309, 311, 312
- Platão 28
- Plêiades 194
- Poeira, interestelar 184, 215, 378
- Poincaré, Henri 26-27
- Polaris (Estrela do Norte) 190
- Política 288, 338-339
- Poupard, cardeal Paul 449
- Praga 56, 76
- Princípio antrópico 367, 368, 451-452
- Princípio cosmológico 142, 323; perfeito 325
- Princípio da incerteza 456
- Procion 227
- Prótons 275-278, 277, 280, 281, 286, 295, 296, 307, 438
- Ptolomeu 66, 80, 144, 227; *Almagesto* 39, 40, 41; teoria planetária 37-39, 38, 43, 122, 126, 310; universo centrado na Terra 35-40, 43, 44, 50-51, 69
- Pulsares 162, 370
- Purcell, Edward 401
- Quasares 390-391
- Rabi, Isidor Isaac 99
- Radar 318, 380-383, 382
- Radiação cósmica de fundo em microondas (RCFM), detectada como ruído 399-406; prevista 312-313, 315, 399; satélites 420-429, 424, 427, 436-437, 446, 447; radiação 438, 439, Tabela 4, 6; variações na 413-428, 418, 427
- Radiação eletromagnética 217, 377, 378
- Radiação ultravioleta 217, 220
- Rádio 270, 273, 274, 280-281, 280
- Radioastronomia 377, 380-385, 382, 386, 388, 392, 395
- Radioatividade 269-272, 280-281; decaimento radioativo 153
- Radiogaláxias 384-390, 394
- Radiointerferência 374-376
- Raios X 219; telescópio 378
- Ratcliffe, John 272
- Recombinação 310-312, 311, 398
- Rees, Martin 341, 373, 450, 452
- Regiões HII 356
- Relâmpago 89, 90
- relatividade 231, 288; cinemática 262; especial 107-115, 111, 141, 281; galileana 100-102, 105, 105, 110, 113, 141; geral 115-134, 140-145, 148, 259, 269, 323, 437, 442; cinemática 262
- Religião 16, 24, 26, 79, 288, 337, 339, 407,

- 435, 449, 454; *ver também* Igreja Católica
- Rético (G. J. von Lauchen) 46, 47, 49, 50, 58, 62
- Robinson, Thomas Romney 174
- Rodolfo II, sagrado imperador romano 56
- Römer, Ole 91-93, 92
- Röntgen, Wilhelm 17
- Rosse, Iorde 174-175, 175, 177, 373
- RR Lyrae, estrelas 348-349, 351
- Ruído 395-401, 427
- Russell, Henry Norris 215
- Rússia 145, 147
- Rutherford, Ernest 271-278, 272, 274, 293; modelo atômico 275-278, 277, 281, 342
- Ryle, Martin 383-388, 389, 437
- Sagan, Carl 216, 448
- Sandage, Allan 354-356, 357
- Satélites 394; Cobe 420-429, 424, 438; WMAP 446, 447
- Saturno 35
- Schmidt, Maarten 388
- Schwarzschild, Karl 132
- Sciama, Dennis 341, 391
- Science News-Letter* 340
- Scientific American* 403
- Seção reta de partículas nucleares 297, 306
- Selig, Carl 99
- Serendipidade 379-381, 401, 435
- Shakespeare, William: *Júlio Cesar* 190
- Shapley, Harlow 182-185, 183, 202, 208-209, 213-216
- Shmaonov, Tigran 401
- Siena, Egito 20, 21, 22
- Silberstein, Ludwig 133
- Singularidade 453
- Sírius 166, 167, 227, 231
- Sistema de Posicionamento Global (GPS) 113
- Sistema solar 30-33, 59, 62, 117-118, 141
- Sizi, Francesco 73
- Skeller, Melvin 376
- Slipher, Vesto 234-236, 237, 238-239, 242
- Smith, Barnabas 116
- Smoot, George 417-420, 422, 424-428
- Sochocky, Sabin von 269
- Sociedade Real 138, 191; medalha Copley 197, 198
- Sociedade Astronômica Real 138, 192; *Monthly Notices* 254
- Sociedade de Astronomia Americana 215
- Sódio 221, 222, 223, 223, 225
- Sol 16, 17, 69, 362, Tabela 3; campo gravitacional 125, 128-129, 136; composição 223-225, 224, 282; eclipse solar 25, 28, 75, 130-131, 135-138, 137; emissões de rádio 381, 382; espectro solar 223-224, 224; medições 19, 21, 25-26, 25, 26, 28, 44, Tabela 1; reações nucleares 282-283, 285-287, 286, 292
- Solvay, conferências 154, 289, 293, 357
- Som 93, 94, 231; velocidade do 90, 93
- Steklov, Vladímir 145-147
- Stoney, Johnstone 175
- Supernova 214-215, 246, 264, 361, 370, 445
- Tabela periódica 271, 270, 276, 277
- Tabelas alfonsinas* 43
- Tecnologia 27
- Telescópio 64, 65-66, 78, 155, 163-181, 234, 266, 446; abertura 164; com a fotografia 193; infravermelho 378; rádio 378, 383, 394-395, 396; raios X 378; refrator 180

Telescópio Clarke 234

Telescópio Hale 349

Telescópio Hooker 180-181, 209, 211, 347, 348

Telstar 394

Tempo 89, 119, 169, 315-316, 438, 454; dia sideral 376; dilatação do tempo 113, 114; e a relatividade especial 108-110, 111

Teoria da catástrofe 81, 143

Teoria da luz cansada 264

Terra 19; composição da 267; idade da 80-81, 346, 351; medida da 20-22, 21, 23, 28, Tabela 1; movimento 32, 101, 376, 418, Tabela 2, 3; órbita em torno do Sol 30, 118; rotação 30, 44; velocidade através do cosmos 419

Thomson, George 337

Thomson, J. J. 138, 271, 272, 275, 279

Townes, Charles 393

Turkevich, Anthony 307

Turner, Herbert 216

Twain, Mark 126

União Astronômica Internacional 339, 352

uniformitaristas 81

Universidade de Chicago 178, 204, 253

Universidade de Colúmbia 393

Universidade George Washington 290, 292, 296, 300

Universidade Oxford 196, 205-206

Universo 89; centro do 257; colapsante 142-144, 148, 445; criação do 79, 82, 83, 153-154; densidade 216, 294, 323, 410-415, 425-426, 438, 442-443; eterno, modelo estático 82, 143-145, 155, 259, 262, 268, 315, 341; evolutivo 148, 153-154, 240, 242, 246, 405; em expansão 148, 153-154, 240-246, 253-

258, 256, 264-266, 318, 445, Tabela 4; futuro do 325-326, 445; idade do 82, 244, 262, 346-347, 352, 356, 447, Tabela 4, 6; infinito 170, 173, 323, 324, 408; e inflação 442-444; isotrópico/homogêneo 142; medições 18-26, 28; modelo chato/panqueca 167, 442-443; origem do 153, 240, 264-265; oscilante 454-455; primordial 294-295, 297, 306-310, 410, 425, 438; temperatura do 294, 306, 312, 398, 406

Universo centrado na Terra 28-35, 31, 36, 63, 67, 76, 122, Tabela 2, 3; Copérnico sobre 44-45; fases de Vênus 67, 69, 70; modelo ptolomaico 37-41, 38, 50-51, 67, 69

Universo centrado no Sol 69-76, 70, 78, 122, 342, Tabela 2, 3; modelo de Aristarco 30-35, 31, 39, 44; modelo copernicano 44, 46, 48, 50-52; modelo de Kepler 58, 66

universo geocêntrico, *ver* universo centrado na Terra

Uraniborg 52-56, 53, 91

Urano 163

Urbano VIII, papa 76, 337

Ussher, James, arcebispo de Armagh 80

Vácuo 94, 99, 216

Van Gogh, Vincent 176

Vega 194

Velocidade da luz 89-93, 92, 95, 141; constância da 103-105, 107-108

Vênus 35, fases 69, 70, 122, 127; Tabela 3; trânsito de 133, 186

Via Láctea 167, 170-173, 176, 216; emissões de rádio 376; forma de panqueca 171, 173, 183; no Grande Debate 181-184, 208; tamanho 170, 186



- Vida 341, 438, 450-453  
Vorontsov-Veliaminov, Boris 339  
Vulcano 125
- Wacker von Wackenfels, Johannes 63, 66, 373  
Walpole, *Sir* Robert 379, 380  
Watterson, Bill 448  
Weber, Heinrich 105  
Weinberg, Steven 439  
Wheeler, John 121  
Whewell, William 459  
Whitehead, Alfred North 138  
Wickramasinghe, Chandra 407
- Wigner, Eugene 305  
Wilkins, bispo John 24  
Williamson, Ralph 327  
Wilson, Robert 394-405, 396, 437, 438  
WMAP, satélite 446, 447
- Xenófanos 16
- Yerkes, Charles Tyson 178, 373  
Young, Charles 197
- Zeitschrift für Physik* 147, 283  
Zona de exclusão 183, 184, 215  
Zwicky, Fritz 263-264, 444

---

Este livro foi composto na tipologia  
ClassGaramond BT, em corpo 10,5/15, e impresso em  
papel off-white 80g/m<sup>2</sup>, no Sistema Digital Instant  
Duplex da Divisão Gráfica da Distribuidora Record.

---

"Singh é brilhante não só em traduzir  
intrincadas idéias científicas para o leitor  
comum, mas também em transmitir seu  
entusiasmo pelo assunto."

THE NEW YORK TIMES

"(...) explica mesmo as mais complicadas  
idéias com sagacidade, graça e bom  
senso."

THE ECONOMIST

"Uma excelente introdução ao  
funcionamento da ciência moderna."

THE TIMES HIGHER EDUCATION SUPPLEMENT

"Não há melhor relato sobre a teoria do  
Big Bang."

PUBLISHERS WEEKLY